

國立勤益科技大學
精密機械產業研發碩士班

碩士論文

電腦輔助製造加工軟體技術改善
以提升切削加工效率

研究生：陳介昱

指導教授：張子欽 博士

中華民國 101 年 6 月

國立勤益科技大學
研究所碩士班
論文口試委員會審定書

本校 精密機械產業研發碩士專班 陳介昱 君

所提論文 電腦輔助製造加工軟體技術改善以提升

切削加工效率

合於碩士資格水準，業經本委員會評審認可。

口試委員：賴允生 _____

張子欽 _____

廖炳鈞 _____

指導教授：張子欽 _____

系（所）主管： _____

中華民國 一〇一 年 七 月

電腦輔助製造加工軟體技術改善以提升切削加工效率

Computer-aided manufacturing software technology improvements to
improve the processing efficiency

研究生：陳介昱

指導教授：張子欽 博士

國立勤益科技大學
精密機械產業研發碩士班
碩士論文



A Thesis
Submitted to
Department of Mechanical Engineering
National Chin-Yi University of Technology
in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of
Master of Science
in
Mechanical Engineering

June 2012

Taiping, Taichung, Taiwan, Republic of China

中華民國一百零一年六月

誌 謝

2009 年因為女兒的一場疾病，促使自己提早啟動了原來的生涯規畫；離開工作十多年的中國大陸，回到故鄉台灣。因為有感於自己在加工技術上的理論不足及目前的加工技術日新月異，卻沒有一個可以在職進修的地方，便萌生了自己再繼續讀書進修的念頭。很感謝在因緣際會中認識的余學長元朗兄，在他的幫忙之下得以進入勤益科技大學的精密機械產業碩士班修讀碩士學位。在這兩年的修業過程中自己經歷了人生中最痛苦難熬的日子：女兒的往生；真很感謝在那段人生的灰暗期，老師、同學們的鼓勵讓自己還能夠有勇氣與動力繼續讀下去。

2011 年因為受聘為模具加工廠及控制器銷售公司的顧問，需要頻繁的往返於兩岸之間；因為在現場的實際加工工作中看見了目前應用軟體的盲點，而促使自己決定針對這些盲點來做分析尋求解決之道；以期能使加工更有效率，也更能節能減碳。

兩年的時間一晃眼已過，在勤益的日子也接近尾聲，在這段時間最感謝的是我的恩師張博士子欽老師；不但提供了我許多的資源讓我得以學習到更高深的技術與實務，也讓我有機會把自己的所學與專長傳承給學校大學部的學弟妹。另外還有洪博士瑞斌教授，給予我一些工作上與技術上的指導；還有機械系的一些教授，老師如林金雄老師、陳正和老師、鄭文達老師與鄧助教奕煒先生與劉技士昌

盛先生等的協助，讓我兩年的學習生活順利。最後不免俗的要謝謝我的家人：我的父母雙親從小教育我們為人處事的道理，尤其是母親陳游碧珠女士，在艱難的經濟環境下含辛茹苦的拉拔三位小孩長大，能出人頭地；雖然母親已經往生，但是相信她會以這些兒女為榮。我的老婆賴明珠女士，婚後專心持家，照顧家庭；讓我能專心在工作與學業上衝刺。我的女兒玉潔，在去年往生當了小天使，她勇敢對抗病魔的精神讓我為之汗顏與內疚；我的兒子亦廷，今年亦將進入國中就讀，希望自己的努力可以給他一個良好的示範。畢業不是結束而是另一段努力的開始，一直希望能將自己的專長傳承給家鄉的年輕人，讓大家都能夠學有一技之長；更希望能略盡棉薄之力，讓台灣的技術與能力不要再給落後韓國，被中國大陸所超越！

電腦輔助製造加工軟體技術改善以提升切削加工效率

研究生：陳介昱

指導教授：張子欽 博士

國立勤益科技大學精密機械產業研發碩士班

摘要

當生活品質的提昇，人們在物質方面的需求已逐漸地由傳統的衣食溫飽需求開始轉向了住、行、育樂等消費性等方面的需求。而隨著人類科技突破性的進步與資訊數位化的影響，現代消費性產品有逐漸走向高消費性藝術品的趨勢；舉凡住的居家裝潢、外觀雕塑、金屬大門與工藝品擺設及行的車輛設計、外觀改造、車用安全帽外觀造型或通訊用手機外觀、外殼設計與個性化的改造…等等。

著重在強調個人特質方面的個性化消費性產品需求已越來越多，產品的生產方式不再只是侷限於傳統的量產式生產而已，有更多的需求是來自於針對消費者本身量身訂置的生產。而數位元化的設計與製造模式絕對是一條不可取代的方式；唯有用數位化的設計與製造方式才能達到較短的時間的快速設計並生產出客戶所需產品的要求。也唯有使用此一種模式，才能把過去的

經驗與知識做一累積與傳承，減少時間與資源無謂的浪費並且提昇了生產效率，更可造就人類的文明的進步。

本文所要探討的，是目前的電腦輔助製造系統（CAM）軟體的計算原理與其優缺點比較，及如何運用實務的技術方式來將其缺點改善，並找出其邏輯性後再於電腦輔助製造系統（CAM）軟體上做出二次開發；以期達到提升加工品質、效率提升與減少刀具磨耗、縮短加工時間的最佳化。

關鍵詞：個性化產品、數位化設計與製造、快速設計、二次開發、高速加工



Computer-aided manufacturing software technology improvements to improve the processing efficiency

Graduate student : Chen Chieh-Yu

Advisors : Dr. Chang Zue-Chin

Department of Mechanical Engineering
National Chin-Yi University of Technology

ABSTRACT

While improving the quality of life, the demands in material by people have already changed from the traditional scratching along with basic living to the needs for consumption in food, clothing, shelter, transportation, education, entertainment. With breakthrough advances in human technology and the digitization of the information of the modern consumer products have gradually become the trend of high consumption work of art such as home decoration, appearance sculpture, metal gate, handicraft displaying, automobile design or its outside modification, safety helmet shape, mobile phone appearance or designing in its outer cover, individualized transformation..and so on.

There have been more and more consumer products emphasizing the personalized idiosyncrasy, the way of its production is not just limited to traditional mass production, more demands are coming from customization. Design and manufacture of digitization are absolutely a way that can't replace. That is the way can reach fast designing and producing requirements for the customer within a short time. Also only use this way, that can accumulate and pass on previous experience and knowledge, reduce the time and meaningless waste of resource, and as well promote production efficiency, which can even more bring up progressive civilization for human being.

Hereby this text intends to explore the calculation principle and its advantage and disadvantage through the software of present Computer Aided Manufacturing (CAM), how to use the practice technological way to improve its shortcomings, and find out itself logic then make the secondary development on the software of Computer Aided Manufacturing (CAM). It expects to upgrade superior processed quality and efficiency, reduce the tool wearing, shorten processing time for optimized application.

目 錄

中文摘要	-----	1
英文摘要	-----	3
目錄	-----	5
圖目錄	-----	6
表目錄	-----	10
一、	緒論-----	11
1.1	研究目的與動機-----	11
1.2	文獻回顧-----	13
二、	研究內容與方式-----	22
2.1	現有加工方式與優缺點-----	22
2.2	現有加工方式應用於浮雕工藝品-----	37
2.3	以現有軟體做功能改善-----	44
2.4	多層投影加工優缺點分析-----	54
2.5	高速加工與傳統加工之差異-----	60
三、	研究結果與討論-----	71
3.1	使用軟硬體設備規格-----	71
3.2	使用等高加工模式的切削加工-----	75
3.3	使用投影加工模式的切削加工-----	79
3.4	使用多層投影加工模式的切削加工-----	82
3.5	加工結果分析與對策-----	85
四、	結論-----	99
參考文獻	-----	101

圖 目 錄

圖 1	可擺設於企業總部大樓外之石雕產品-----	15
圖 2	房屋正面之拼花石雕產品-----	16
圖 3	房屋正面牆面之石雕產品-----	16
圖 4	擺設於住家花園之石雕產品-----	17
圖 5	擺設於社區花園之石雕產品-----	17
圖 6	擺設住家玄關之陶瓷藝術品-----	18
圖 7	可擺設住家玄關之琉璃藝術品-----	18
圖 8	個性化設計之水晶雕塑品-----	19
圖 9	個性化設計之婚紗水晶雕塑品-----	19
圖 10	個性化設計之水晶雕塑品-----	20
圖 11	個性化設計之水晶雕塑品-----	21
圖 12	素材與加工件之對應位置(等角視圖)-----	25
圖 13	素材與加工件之對應位置(正視圖)-----	25
圖 14	素材與加工件之對應位置(側視圖)-----	26
圖 15	等高粗加工刀具路徑(等角視圖)-----	26
圖 16	等高粗加工刀具路徑(正視圖)-----	27
圖 17	等高粗加工刀具路徑(側視圖)-----	27
圖 18	等高粗加工之實體模擬切削(等角視圖)-----	28
圖 19	等高精加工之刀具路徑(等角視圖)-----	28
圖 20	往復式投影精加工之刀具路徑(等角視圖)-----	31
圖 21	往復式投影精加工之刀具路徑(正視圖)-----	31
圖 22	往復式投影精加工之刀具路徑(側視圖)-----	32
圖 23	投影精加工之實體模擬切削(等角視圖)-----	32
圖 24	螺旋投影式精加工之刀具路徑(等角視圖)-----	33
圖 25	曲線投影式精加工之刀具路徑(等角視圖)-----	33
圖 26	環繞投影式精加工之刀具路徑(等角視圖)-----	34
圖 27	更換不同直徑刀具後切削面積比較圖；可看出右邊較小刀具切削面積大(Rhinoceros 軟體所繪製)-----	35
圖 28	不同大小刀具可切削深度比較圖；可看出右邊較小刀具切削深度較深-----	35
圖 29	未處理前之平面影像檔-----	38

圖目錄

圖 30	轉浮雕曲面加影像貼圖(曲面及貼圖由 Rhinoceros 所製作)---	39
圖 31	圖 A 為浮雕曲面加影像貼圖效果,圖 B 為轉換後之浮雕曲面-----	40
圖 32	圖 A 為欲加工之浮雕曲面、圖 B 藍色線條為使用 $\Phi 6$ 平銑刀做等高式加工法所產生之刀具路徑、圖 C 為模擬使用 $\Phi 6$ 平銑刀切削後之狀況(該影像及刀具路徑由 ShoeCAM 所製作) -----	41
圖 33	$\Phi 3$ 平銑刀等高式殘料再加工之刀具路徑,紅色代表提刀、白色為進刀-----	42
圖 34	$\Phi 1.5$ 平銑刀等高式殘料再加工之刀具路徑,紅色為提刀、白色為進刀-----	42
圖 35	圖 A 為使用球銑刀做投影式加工法所產生的刀具路徑、圖 B 為模擬使用球銑刀切削後之狀-----	43
圖 36	利用逆向掃描重建,具有強烈特徵變化的浮雕曲面-----	46
圖 37	多層投影式加工法之粗加工計算所產生的刀具路徑(等角視圖)-	46
圖 38	多層投影式加工法之粗加工計算所產生的刀具路徑(側視圖)---	47
圖 39	多層投影式加工,不同深度層級產生之刀具路徑 1/2(等角視圖)-	47
圖 40	多層投影式加工,不同深度層級產生之刀具路徑 2/2(等角視圖)-	48
圖 41	多層投影式加工,不同的深度層級及加工的刀具路徑(側視圖)--	49
圖 42	多層投影式加工法做精加工計算所產生刀具路徑,由不同深度層級所產生的刀具路徑 1/3;刀具路徑因深度變化而開始擴散(等角視圖)-----	51
圖 43	多層投影式加工法做精加工計算所產生刀具路徑,由不同深度層級所產生的刀具路徑 2/3;刀具路徑因深度變化而開始擴散(等角視圖)-----	52
圖 44	多層投影式加工法做精加工計算所產生刀具路徑,由不同深度層級所產生的刀具路徑 3/3;刀具路徑因深度變化而開始擴散(等角視圖)-----	53
圖 45	多層投影式加工法做精加工計算所產生刀具路徑,由不同深度層級所產生的刀具路徑;刀具路徑因深度變化而開始擴散(側視圖)	54
圖 46	高速精密切削關係圖-----	62

圖 目 錄

圖 47	改良型主軸，具有定時自動供油潤滑功能-----	63
圖 48	Fanuc 高速高精控制系統-----	64
圖 49	Fanuc 高速高精伺服進給系統-----	64
圖 50	高速加工刀把與切削刀具夾持方式 1/5-----	65
圖 51	高速加工刀把與切削刀具夾持方式 2/5-----	65
圖 52	高速加工刀把與切削刀具夾持方式 3/5-----	66
圖 53	高速加工刀把與切削刀具夾持方式 4/5-----	66
圖 54	高速加工刀把與切削刀具夾持方式 5/5-----	66
圖 55	主軸、刀把、刀具平衡因素分析-----	67
圖 56	刀把、刀具不平衡因素分析-----	67
圖 57	刀把、刀具平衡要素分析-----	67
圖 58	切削刀具製造流程-----	68
圖 59	常用 CNC 切削刀具種類-----	68
圖 60	表面塗層刀具-----	69
圖 61	CAM 編程要領-----	70
圖 62	不同材料高速與傳統加工比較-----	70
圖 63	泉州伊士曼 SFA-650 小型龍門高速雕銑機；主軸 22,000RPM-----	71
圖 64	台灣智研科技有限公司的 ME3 銑床控制器；具有高速高精模組-----	72
圖 65	此次加工所使用的小型龍門式高速雕銑機-----	72
圖 66	北京天遠三維科技有限公司的 OK10-II 系統，在數據採樣具有極高的準確率；是目前中國國產品牌的龍頭-----	73
圖 67	美國 Geomagic, Inc. 的 Geomagic Studio 是逆向工程的先驅-----	73
圖 68	台灣寶元科技的 ShoeCAM，是一套容易上手的 CAM 編程軟體-----	74
圖 69	Ø12 平銑刀等高粗加工 1/5-----	76
圖 70	Ø6 平銑刀殘料等高再加工 2/5-----	76
圖 71	Ø4 平銑刀殘料等高再加工 3/5-----	77
圖 72	R2 球銑刀往復式投影中加工 4/5-----	77
圖 73	R1 球銑刀往復式投影精加工 5/5-----	78
圖 74	切削完成之成品加工-----	78
圖 75	R6 球銑刀往復式投影粗加工(第一層深度 2mm)1/5-----	80
圖 76	R6 球銑刀往復式投影粗加工(第二層深度 4mm)2/5-----	80

圖 目 錄

圖 77	R6 球銑刀往復式投影粗加工(第三層深度 6mm)3/5-----	80
圖 78	R3 球銑刀往復式投影中加工 4/5-----	81
圖 79	R2 球銑刀往復式投影中加工 5/5-----	81
圖 80	Ø12 平銑刀多層投影粗加工 1/5-----	83
圖 81	R2 球銑刀多層投影中加工 2/5-----	83
圖 82	R2 球銑刀多層投影中加工 3/5-----	84
圖 83	R2 球銑刀多層投影中加工 4/5-----	84
圖 84	R2 球銑刀多層投影中加工 5/5-----	84
圖 85	多層式投影粗、中加工;紅色為提刀、白色為進刀(上視圖)1/3---	88
圖 86	多層式投影粗、中加工;紅色為提刀、白色為進刀(側視圖)2/3---	88
圖 87	多層式投影粗、中加工;紅色為提刀、白色為進刀(等角視圖)3/3---	88
圖 88	等高加工粗、中加工;紅色為提刀、白色為進刀(上視圖)1/3-----	89
圖 89	等高加工粗、中加工;紅色為提刀、白色為進刀(側視圖)2/3-----	89
圖 90	等高加工粗、中加工;紅色為提刀、白色為進刀(等角視圖)3/3---	89
圖 91	往復加工粗、中加工;紅色為提刀、白色為進刀(上視圖)1/3-----	90
圖 92	往復加工粗、中加工;紅色為提刀、白色為進刀(側視圖)2/3-----	90
圖 93	往復加工粗、中加工;紅色為提刀、白色為進刀(等角視圖)3/3---	90
圖 94	往復式投影的加工路徑;可看出路徑的轉角平順-----	94
圖 95	使用往復式投影精加工;可看出工件表面無轉角痕跡 1/4-----	95
圖 96	使用往復式投影精加工;可看出工件表面無轉角痕跡 2/4-----	95
圖 97	使用往復式投影精加工;可看出工件表面無轉角痕跡 3/4-----	95
圖 98	使用往復式投影精加工;可看出工件表面無轉角痕跡 4/4-----	96
圖 99	環繞式投影的加工路徑;可看出側進刀與轉角位置有明顯痕跡--	96
圖 100	使用環繞式投影精加工可發現工件表面在轉角處有明顯斜線 1/4	97
圖 101	使用環繞式投影精加工可發現工件表面在轉角處有明顯斜線 2/4	97
圖 102	使用環繞式投影精加工可發現工件表面在轉角處有明顯斜線 3/4	97
圖 103	使用環繞式投影精加工可發現工件表面在轉角處有明顯斜線 4/4	98

表 目 錄

表 1	球銑刀與工件被切深位置相對尺寸-----	36
表 2	使用等高加工模式的切削加工參數表-----	75
表 3	使用投影加工模式的切削加工參數表-----	79
表 4	使用多層投影加工模式的切削加工參數表-----	82
表 5	三種加工模式之程式與加工時間誤差分析表-----	85
表 6	三種模式粗、中加工部份；程式與加工時間誤差分析表-----	87
表 7	往復式與環繞式投影加工法，在程式與加工時間之誤差分析表--	93



第一章 緒論

1.1 研究目的與動機

隨著生活品質的提昇，人類在衣食傳統方面的需求已不再有匱乏之虞；所以在物質方面的需求也逐漸地由衣食溫飽的傳統需求開始轉向了住、行、育樂等消費性方面的需求。而隨著人類科技突破性的進步與資訊數位化的影響，現代的消費性產品已有逐漸走向高消費性藝術品的趨勢。

舉凡住的居家裝潢、外觀雕塑、金屬大門與工藝品擺設及行的車輛設計、外觀改造、車用安全帽外觀造型或通訊用手機外觀、外殼設計與個性化的改造、、、等等。這些都是利用電腦輔助設計系統（CAD）將所需的成品做成圖面或立體的造型設計，並於產生數位化的資料後再經由電腦輔助製造系統（CAM）來將其產生所需要的刀具路徑座標資料（NC-CODE）；最後則經由電腦數控機床（CNC）讀取刀具路徑座標資料（NC-CODE）來加工完成所需的模具或產品，以達到消費者的需求。

由於生活水準的提升，關於強調個人特質方面的個性化消費性產品需求已越來越多，產品的生產方式已不再只是侷限於傳統的量產式生產模式而已；也有更

多的需求是來自於針對消費者本身量身訂製的個性化生產。所以利用傳統的模具生產方式已不再能完全符合時代需求；不過不論生產方式或是市場需求再如何的改變，目前可以確定的一件事情，就是數位化的設計與製造模式目前絕對是一條不可取代的方式。唯有用數位化的設計與製造方式才能達到在較短的時間內快速設計並生產出客戶所需產品的要求；也唯有使用此一種模式，才能把過去的經驗與知識做一累積與傳承。如此方能減少時間與資源無謂的浪費並且有效的提昇生產效率，更可造就人類的文明的進步。

而在所有的高消費性產品的需求中，又以工藝品、雕塑藝術品、等類產品的需求所具備的經濟效率最高；一個獨特又具有藝術價值的工藝品或雕塑藝術品往往具有極高的經濟價值。而利用電腦輔助設計系統（CAD）可以達到所需要的數位化資料；而且可以經由快速設變修改產品，以達到不同客戶的特殊需求。然後再利用電腦輔助製造系統（CAM）與電腦數控機床（CNC）來生產出客戶所指定的工藝品或雕塑藝術品。

綜觀目前在市面上推出的商業用電腦輔助製造系統（CAM）軟體非常的多，其功能也各有所專：木雕加工、石雕加工、金屬加工、非金屬加工、等不勝枚舉。但其實歸納起來，所有的軟體所提供的加工編程，其運算方式大概可以概略分成兩大類的加工模式：

- i. 等高粗加工，殘料再加工，殘料二次加工、、、；最後精加工。
- ii. 大直徑刀具投影精加工，較小直徑刀具投影精加工，更小直徑刀具投影精加工、、、；最小可接受直徑刀具投影精加工。

本論文的研究目的，就是在探討這兩種加工方式的優缺點，及應用於浮雕、雕塑類型的工藝品加工時會發生的狀況；並且運用實際工作上的技術方式來將其缺點改善後，再找出合理的邏輯性並於電腦輔助製造系統（CAM）軟體上做出二次開發。以期達到提升加工品質、效率提升與減少刀具磨耗、縮短加工時間的最佳化。

1.2 文獻回顧

自從 1962 年美國的麻省理工學院開發出全世界第一套的電腦輔助設計系統（CAD）—” SKETCHPAD” 之後，便奠定了人類由傳統手工工藝走向數位化控制的基礎；再到 1965 年，由 Niller 發展成為第一個用於民用工程的 ICES 綜合設計系統。同年美國的洛克希德公司組成專案小組，以花費了 100 人／年的工作量，在 1972 年完成了一個用於飛機設計的互動式圖像處理系統，並將其命名為” CADAM” 。“ CADAM” 能夠繪製工程圖、進行分析計算及產生數控加工紙帶，這可能是世界上最早 CAD/CAM 系統了。

近十年來，CAD/CAM 的發展非常迅速，並出現了不少著名的專門從事 CAD/CAM 技術開發的軟體公司以及研究所；如法國達梭公司的” CATIA”系統、德國西門子公司所併購的” NX Unigraphics”系統、德國 OPEN MIND 公司的” hyperMill”系統以及英國達康公司” PowerMill”系統、、、等等。同時，隨著電腦等週邊設備技術的發展，CAD/CAM 的電腦軟硬體系統，也由原來的單一封閉型系統，走向硬體與軟體相對獨立的開放型系統。

拜科技進步之所賜，體積更小、速度更快、容量更大、畫質更優並且價格更低廉的桌上型個人電腦、圖形顯示裝置及其週邊設備不斷地推陳出新，為各種行業創造了使用 CAD/CAM 的絕佳環境與條件。一些歐、美、日等先進國家的政府不斷增加撥款，以支持這項技術的發展；甚至連中國大陸的政府都高度重視，將其列為國家科技研究重點項目，培植企業開發出所謂的國產 CAD/CAM 應用軟體。而美國的國家科學基金會的生產中心甚至說“ CAD/CAM 技術是自電子技術發明以來，與其它技術相比，具有更大的潛力，能更高地提高生產率的技術” [1]。

當人類進入二十一世紀之後，隨著經濟的高度成長與生活品質的提昇，現代的消費趨勢已經由單純口腹之慾走向感官方面的消費；高端的消費者其消費模式也由量產式所生產的產品逐漸地被所謂的單一、個性化產品所取代。

所以，住的房子外觀強調有大理石雕花，內部裝潢要求有立體的層次感、擺設的藝術品不再只是平面的圖畫，而是立體的雕塑品。行的車輛或機車改裝，力求個人特色；不再是貼紙的平面圖案，而是立體造型的設計。通訊用手機外觀、外殼設計亦是如此要求。

針對這龐大的商機需求，如何將現有的 CAD/CAM 軟體系統做一個改造，來讓其能夠適應現今市場少量甚至是單一而多量的生產模式；達到多樣化、快速化、便宜化的消費模式，讓我們的生活更加的多采多姿。



圖 1、可擺設於企業總部大樓外之石雕產品[2]



圖 2、房屋正面之拼花石雕產品[3]



圖 3、房屋正面牆面之石雕產品



圖 4、擺設於住家花園之石雕產品



圖 5、擺設於社區花園之石雕產品



圖 6、擺設住家玄關之陶瓷藝術品



圖 7、可擺設住家玄關之琉璃藝術品[4]



圖 8、個性化設計之水晶雕塑品[4]



圖 9、個性化設計之婚紗水晶雕塑品[4]



圖 10、個性化設計之水晶雕塑品[4]



圖 11、個性化設計之水晶雕塑品[4]

第二章 研究內容與方式

2.1 現有加工方式與優缺點

目前市面上推出的電腦輔助製造系統(CAM)的軟體非常的多，功能也各有所專；但是歸納起來，所有提供的加工編程運算功能，其運算方式可以概略分成兩大類的加工模式：

- i. 等高粗加工，殘料再加工，殘料二次加工、、、；最後精加工。
- ii. 大直徑刀具投影精加工，較小直徑刀具投影精加工，更小直徑刀具投影精加工、、、；最小可接受直徑刀具投影精加工。

綜觀上述兩類的加工模式中各有其優缺點，茲敘述如下：

1、等高式粗加工模式：

一、優點：

- 1、 等高式粗加工模式所採用的運算原理；在每一層級中將未切削材料（素材邊界輪廓）與欲加工模型邊界輪廓間產生一封閉區域，再與上一層級所產生的封閉區域做布林運算（聯集）的方式，而產生欲加工區域〔此種運算方式是為了防止當加工模型有倒扣的情況產生時，若未與上一層級所產生的封閉區

域來做布林運算（聯集），則當模型出現倒扣情況時，在切削 Z 值較深位置時會對切削 Z 值較淺位置的區域產生過切。〕，並依設定之參數計算出刀具路徑；所以此種加工方式在運算邏輯上有考慮到未加工的材料部份。

- 2、 因為使用了較大直徑的平銑刀或牛鼻銑刀來做等高方式的粗加工，而且是採用平面等距偏置方式所計算出來的加工路徑；所以可以採用較大的刀間距（約可以是該把刀具直徑的 50%~85%）參數。這樣在每一層級中就可以有比較高的切削效率，因此就可以很快速地將不需要的材料切除。
- 3、 採用由大直徑刀具切削過後再逐漸變為較小直徑刀具切削的策略，在“理論上”而言，上一把刀具所切削過的區域，次一把較小直徑的刀具便不再切削，而只單純加工上一把刀具未切削的較窄或較小區域；所以在“理論上”就可以減少不必要的切削路徑產生，進而達到提升加工的效率。

二、 缺點：

- 1、 因為是等高式的平面加工，所以在每個切削的層級與層級之間就會形成階梯式的落差，這樣對加工深度的設定就會有很關鍵的影響。如果將每一個切削層級的間隔落差設定加大，則所造成的階梯就會過高；如此一來就會增加在中加工製程方面的困難度。反之，如果將每一個切削層級的間隔落差設定變小，則所造成的階梯相對地變小；如此一來雖然減少了在中加工製程方面的

困難度，但在無形之中也增加了很多的切削層級，反而會因此而更增加了許多的加工時間與製造的成本。

2、採用由大直徑刀具切削過後再逐漸變為較小直徑刀具切削策略，雖然在“理論上”，上一把刀具所切削過的區域，次一把較小刀具直徑不再切削，而只做上一把刀具未切削的較窄或較小區域。但實際的狀況卻是會因為刀具未切削範圍並不一定具有規則性或同一區域性，而會造成好幾個區塊；如此一來，在實際的切削加工中就會大大增加了刀具提刀與下刀的頻率，反而在無形中增加了加工的時間與製造的成本。

3、平銑刀或牛鼻銑刀等刀具，其最具切削能力的切削位置是位於刀具側邊的刀刃；而刀具的底部部份並不擅於切削；而另一方面，機台的設計，在切削的情況下，受力比較脆弱的是主軸軸心平行方向（刀軸方向，一般而言是Z軸方向）的碰撞。所以有經驗的程式設計者在刀具加工路徑編寫時往往會將下刀策略設定成螺旋式或斜進刀的下刀方式以避開刀具端面的靜點；並且會將下刀速度減緩，大約是直線切削速度的10%~20%。

如此一來，雖然在有形中看似減少了切削區域的加工時間，相對的卻在無形中因提刀與下刀頻率的增加而造成更多的加工時間；這樣反而增加了許多實際的加工時間，並且會加大了機器的磨耗。

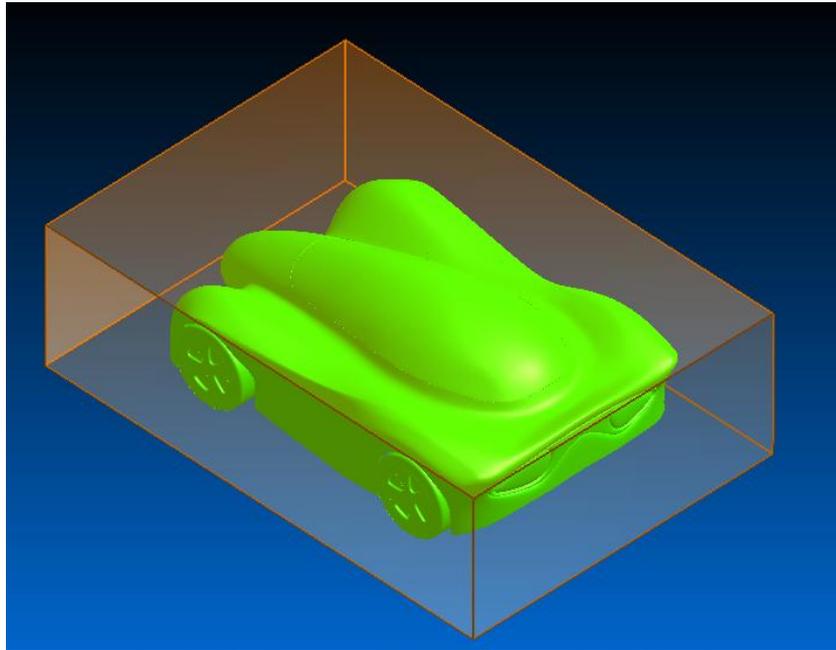


圖 12、素材與加工件之對應位置（等角視圖）[5]

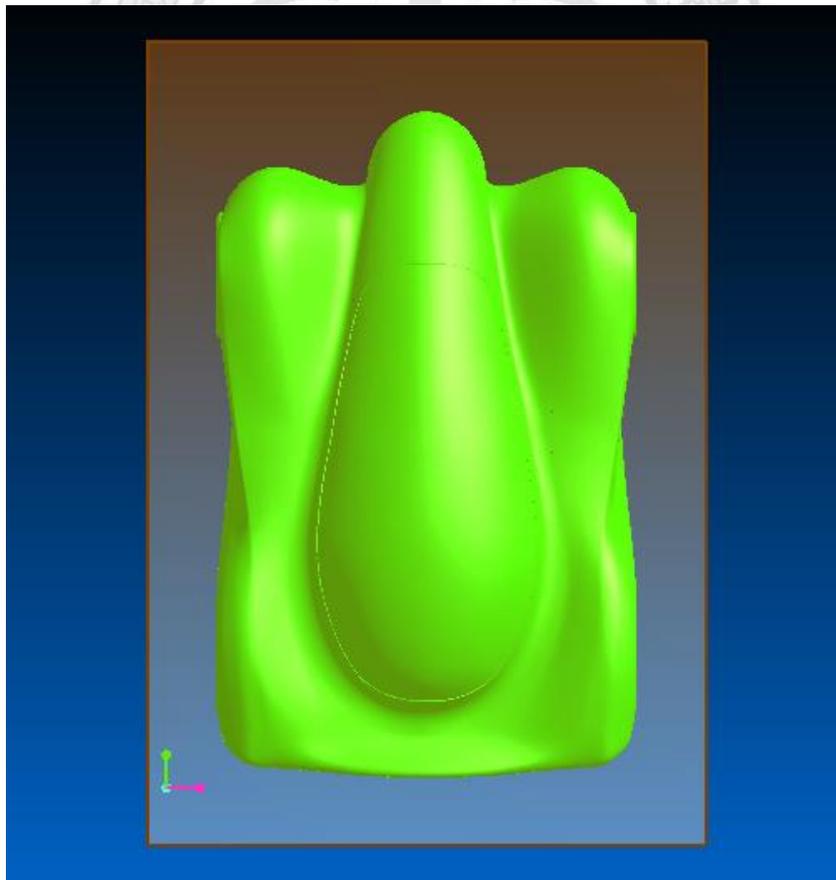


圖 13、素材與加工件之對應位置（正視圖）[5]

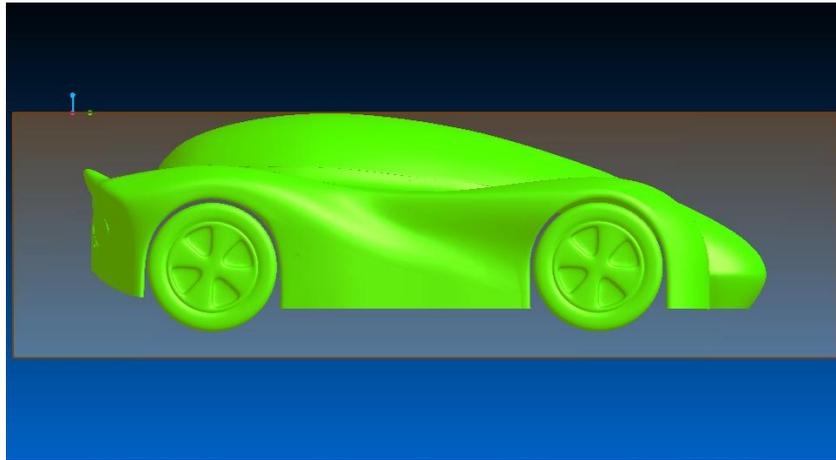


圖 14、素材與加工件之對應位置（側視圖）[5]

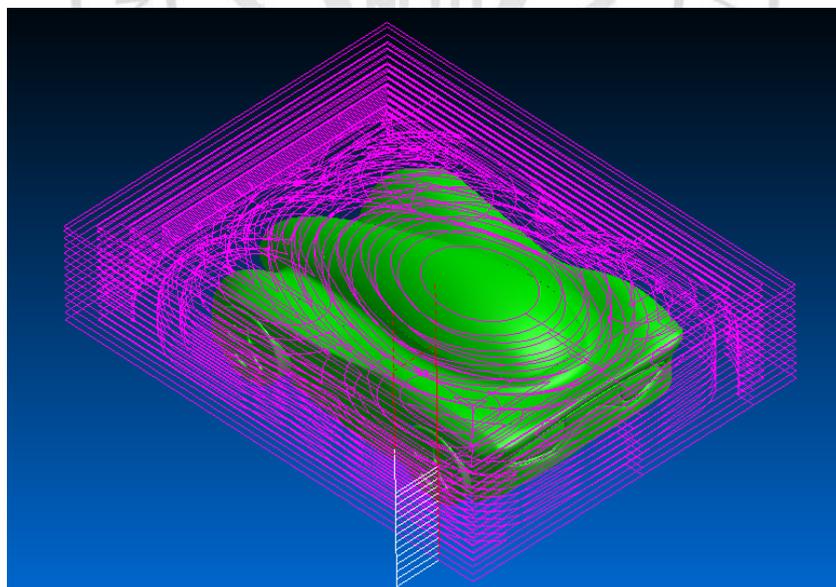


圖 15、等高粗加工刀具路徑（等角視圖）[5]

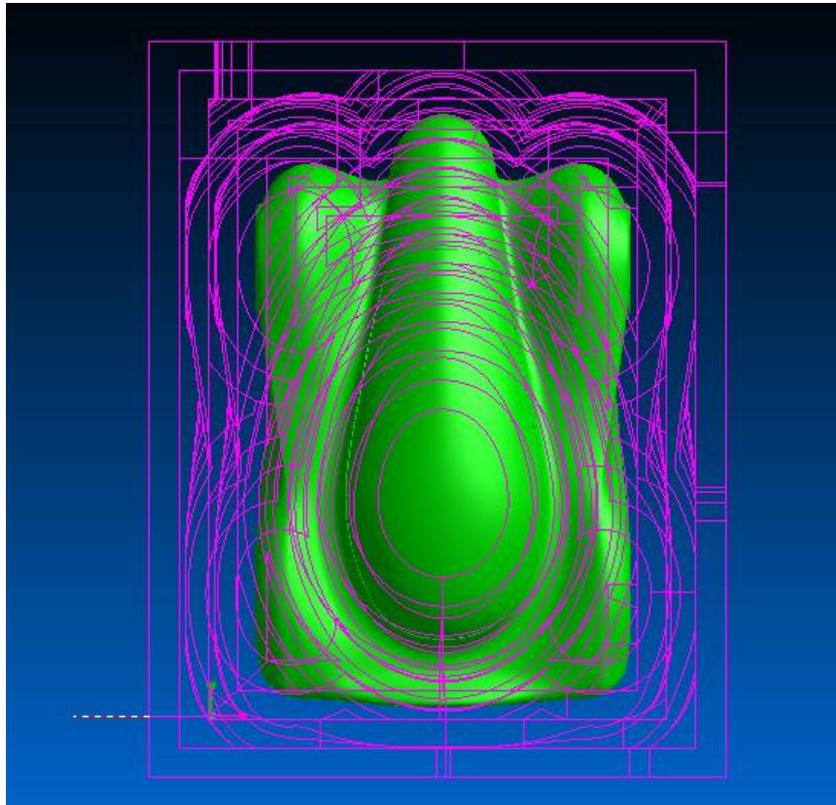


圖 16、等高粗加工刀具路徑（正視圖）[5]

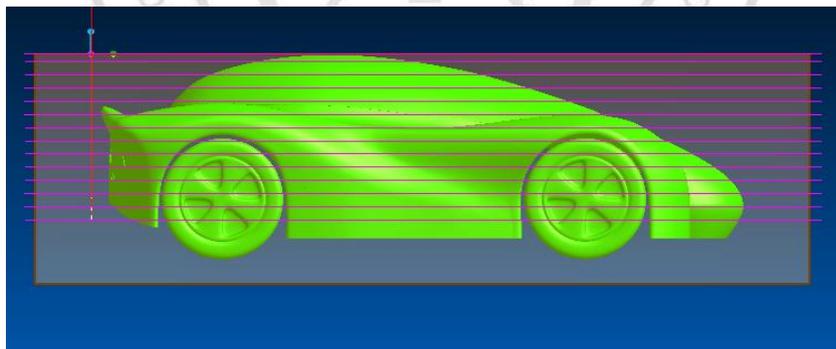


圖 17、等高粗加工刀具路徑（側視圖）[5]

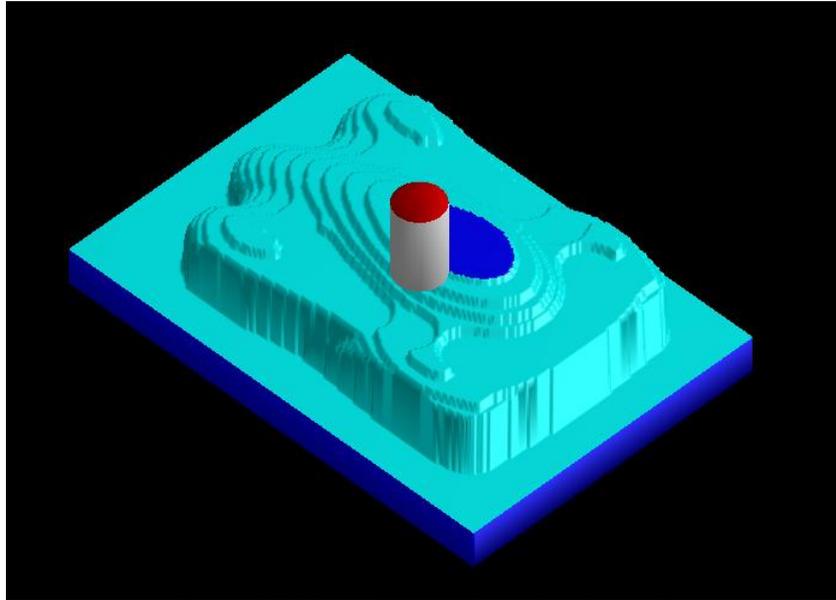


圖 18、等高粗加工之實體模擬切削（等角視圖）[5]

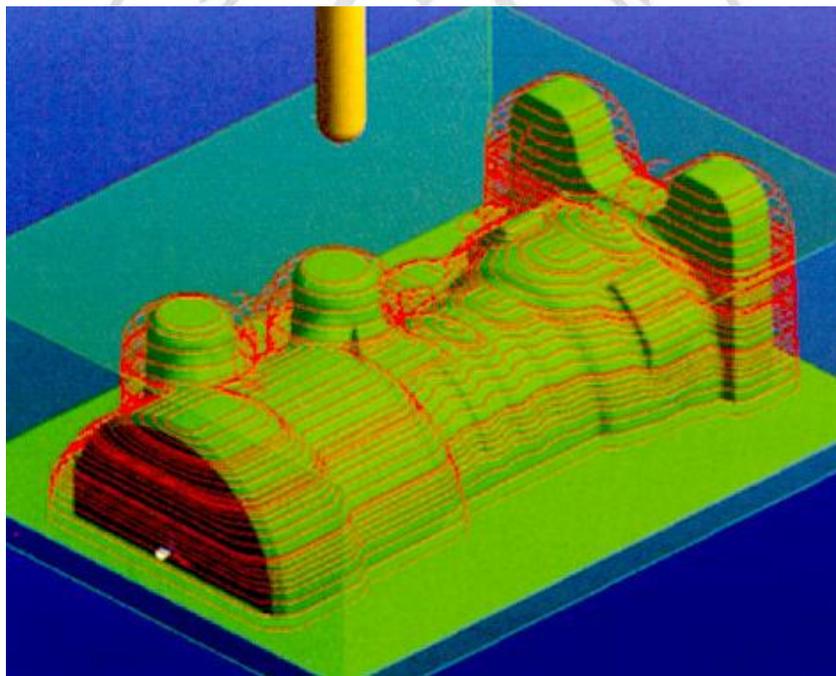


圖 19、等高精加工之刀具路徑（等角視圖）[6]

2、投影式精加工模式：

一、優點：

- 1、 投影式精加工模式所採用的運算原理；以將所設定的驅動線 (Driver) 依刀軸方向 (一般而言是 Z 軸方向) 投影到曲面的方式來計算出刀具路徑，一般是使用球銑刀具來做加工 (這是因為所計算的加工曲面高低不一，若使用平銑刀或牛鼻銑刀刀具時，會有許多無法切削到的深度位置；而球銑刀具因為前端是半圓球狀，所以可以切削到更深的位置)。
- 2、 投影式精加工模式的加工策略是經由定義一個角度及刀間距的方式來產生一組驅動線 (Driver)，並將這組驅動線設定為所定義的球銑刀具中心路徑，做刀軸方向 (一般而言是 Z 軸方向) 或指定方向的投影並作球半徑的補償；然後再讓所選擇的球銑刀具將已投影到曲面的驅動線群組當成是刀具路徑後，依刀軸方向來做單向式、往復式或環繞式的切削加工。因為球銑刀具底部為半圓球形狀，所以球銑刀具可以加工到的深度相較於同一尺寸的平銑刀或牛鼻銑刀的加工深度更深，最大值約可以是刀具的半徑值。

二、缺點：

- 1、 此種刀具路徑的計算方式屬於精加工模式，所以並未考慮到未切除的素材或殘料部份，而是僅以所選擇到的曲面與限制範圍作為計算的條件；並將這些

所選擇到的曲面圖素與限制範圍當成是最終的加工位置與高度，而進行刀具路徑的運算與產生刀具路徑。如此一來，在大直徑球銑刀做第一次切削加工時就可能因為素材與曲面之間所造成過大的落差或過大的間距而使得球銑刀具的切削加工過於沉重。這樣不但會因此而需被迫降低切削速度，反而造成降低加工效率之外；更會因為過重的切削而造成主軸、機台的損耗，甚至會造成刀具斷裂而影響加工進度、增加製造成本。

- 2、這種加工方式需要使用更多的刀具來進行切削加工。因為插、拉銑削的加工方式並不利於刀具的排屑，雖然球銑刀可以較平銑刀及牛鼻銑刀切削深度更深，然而球銑刀的刀刃卻不適合用來做大切削量的粗加工。如此一來，唯有減少刀具的切削量，也就是縮短每把刀具的刀間距方式；依據最佳化切削原理，每一把更換後的刀具直徑不得小於上一把刀具的刀半徑（這是因為若更換後的刀具直徑小於上一把刀具的刀半徑，可能會發生兩個狀況：a、某些未切除區域的寬度尺寸其實只比上一把刀具的刀徑小一些，這樣更換後的較小直徑刀具就可能會有因為全刃切削而造成斷刀的問題。b、某些未切除深度的寬度尺寸其實只比上一把刀具的刀徑小一些，這樣更換後的較小直徑刀具就可能會有因為插銑過深而造成斷刀的問題。）。這樣就會需要使用更多的刀具來進行切削加工；不但增加加工時間，也會增加程式編寫的複雜度。

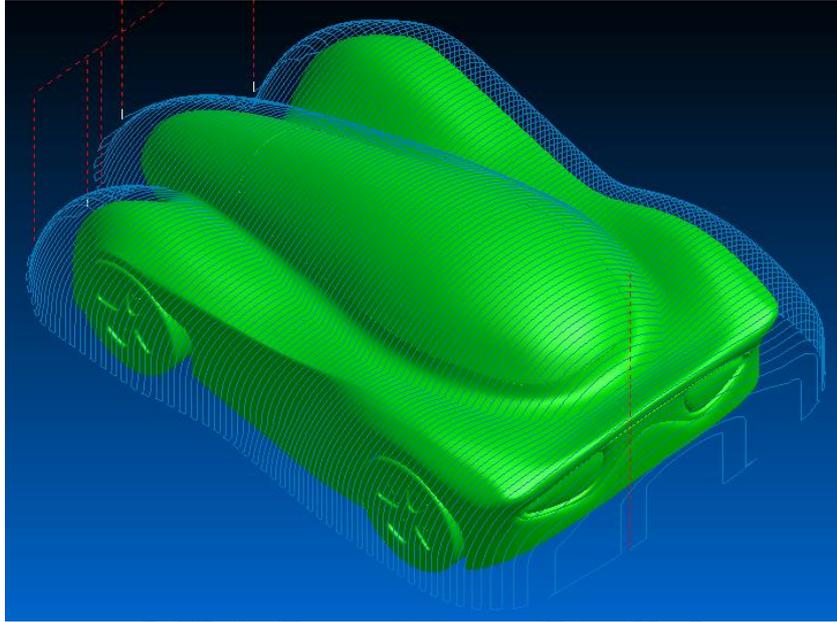


圖 20、往復式投影精加工之刀具路徑（等角視圖）[5]

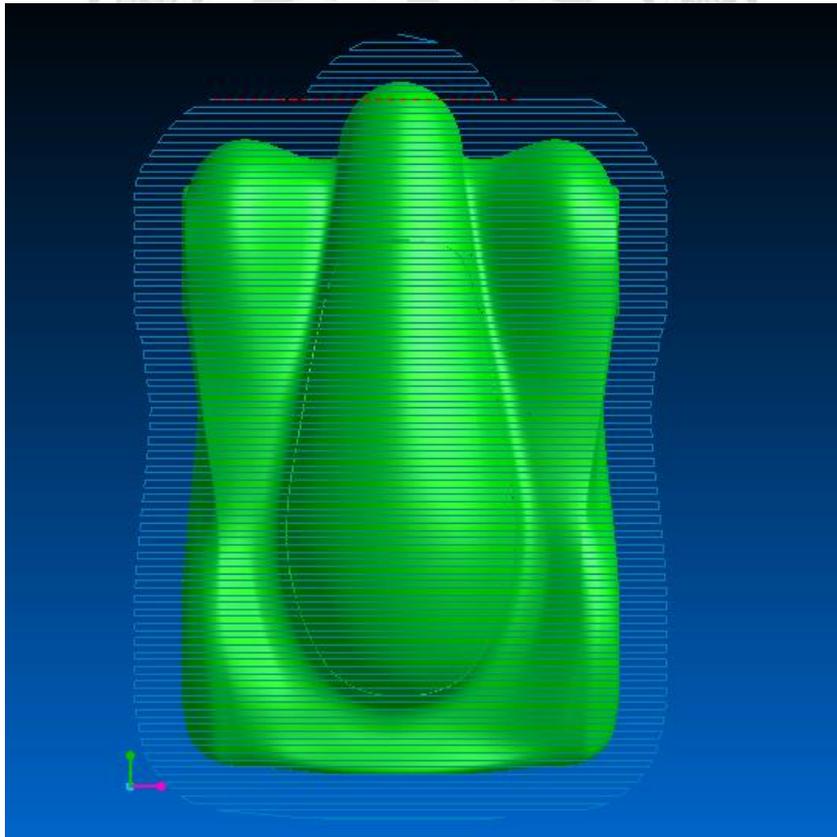


圖 21、往復式投影精加工之刀具路徑（正視圖）[5]

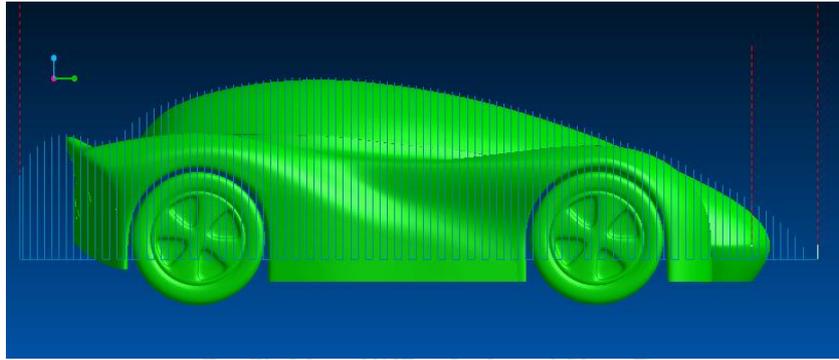


圖 22、往復式投影精加工之刀具路徑（側視圖）[5]

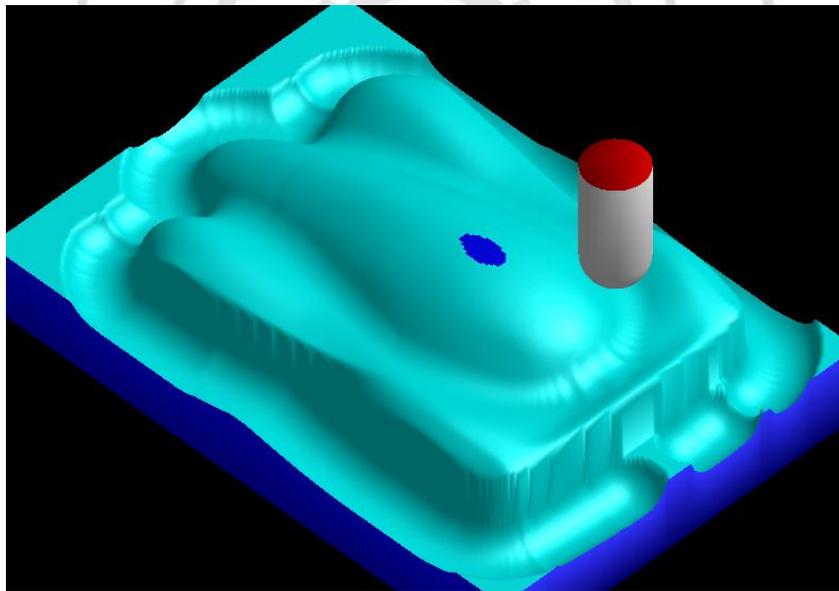


圖 23、往復式投影精加工之實體模擬切削（等角視圖）[5]

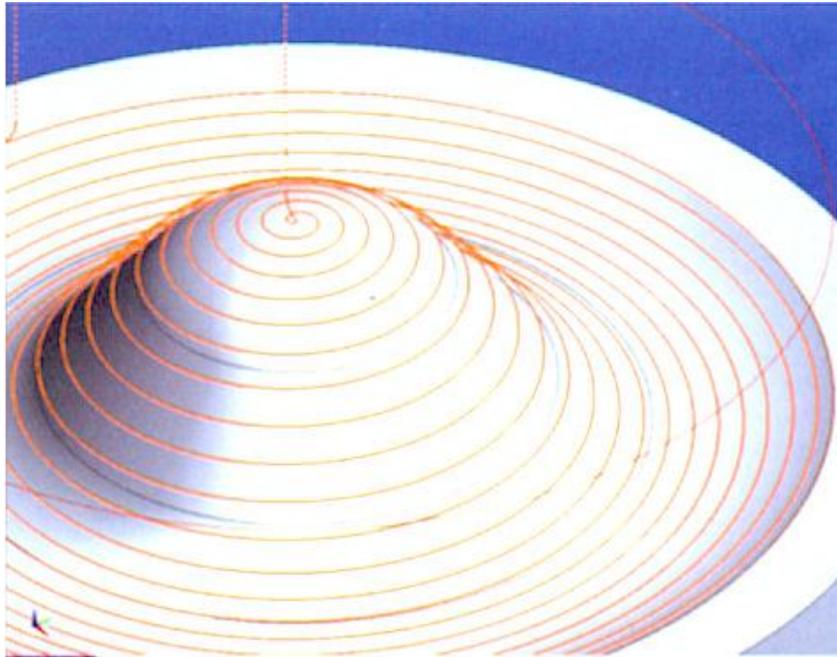


圖 24、螺旋投影式精加工之刀具路徑（等角視圖）[6]

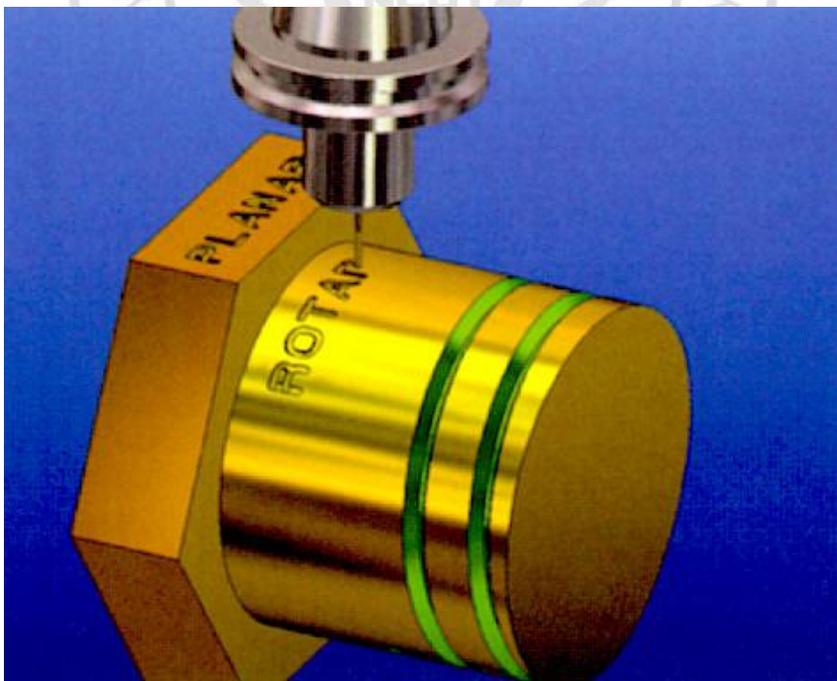


圖 25、曲線投影式精加工之刀具路徑（等角視圖）[6]

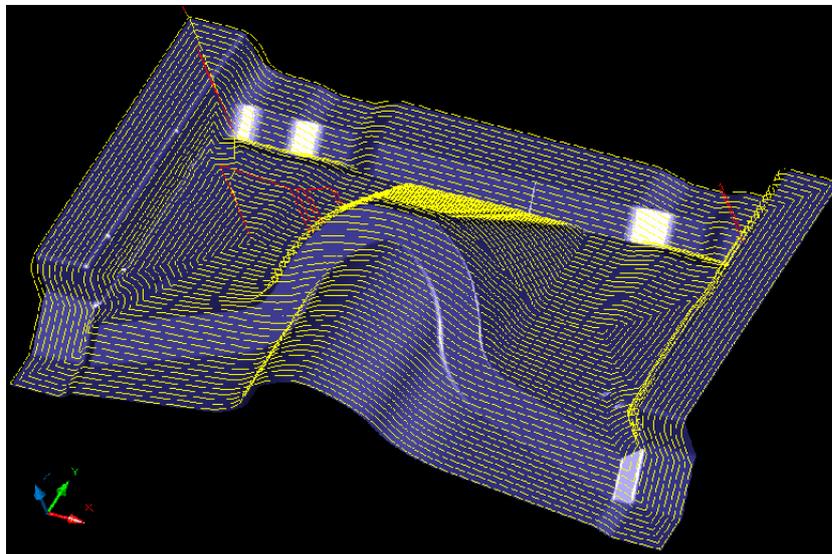


圖 26、環繞投影式精加工之刀具路徑（等角視圖）[7]

分析在 CNC 的切削加工過程中會因為 CAM 程式編排因素而造成刀具斷裂的原因，不外乎下列兩點：

1. 刀具切削之刀間距過大或刀具更換前與後的兩把刀具直徑落差過大（例如兩把刀具的刀具直徑相差超過一半）；如此會造成在切削過程中刀具因全刀的切削，排屑困難而產生斷刀。

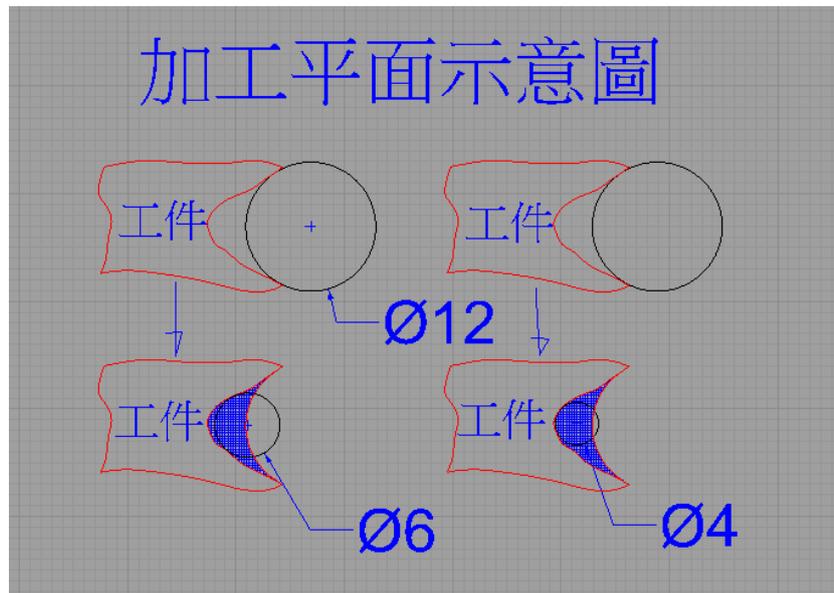


圖 27、更換不同直徑刀具後切削面積比較圖；可看出右邊較小刀具切削面積大
(Rhinceros 軟體所繪製) [8]

2. 刀具切削時的加工深度過深；如此會造成在切削過程中刀具因全刀切削，排屑困難而產生斷刀。

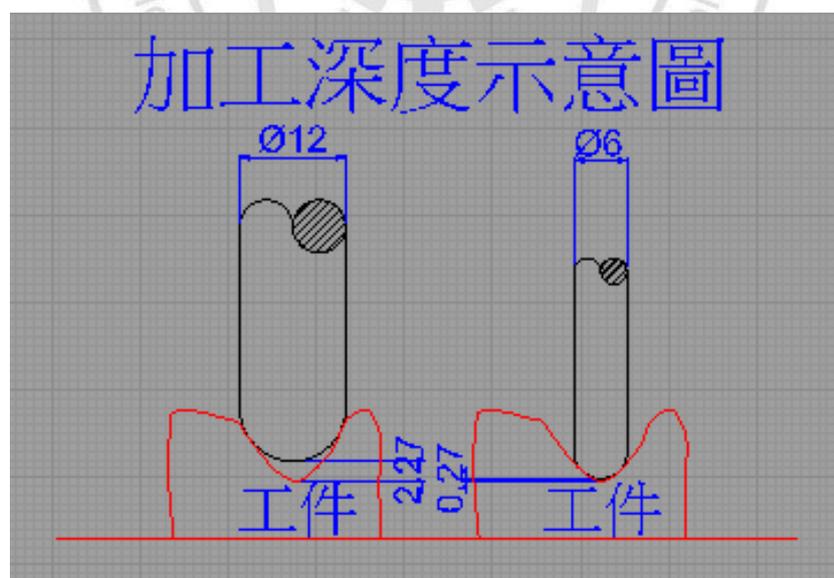


圖 28、不同大小刀具可切削深度比較圖；可看出右邊較小刀具切削深度較深[8]

刀具直徑	與參考位置距離
12mm	2.27mm
6mm	0.27mm

表 1、球銑刀與工件被切深位置相對尺寸

而這兩項問題，可將其簡稱為與刀軸之垂直面及平行面的問題。現今市售的

商用 CAM 編程軟體，其刀具路徑運算的基礎，不外乎這兩種的模式：

1. 利用垂直刀軸的等高方式，先產生不同高度的斷面區域後，再計算出刀具路徑；若刀具路徑的計算有參考到素材或殘料等欲切除之材料體積，則此種方式可稱之為等高式粗加工或等高式殘料再加工〔刀具會依據每一層級中未切削材料（素材邊界輪廓或殘料邊界輪廓）與欲加工模型邊界輪廓間所產生的封閉區域，依設定之參數計算出刀具路徑。〕；若未參考到素材或殘料等欲切除之材料體積，則稱之為等高式精加工（刀具會依據每一層級中欲加工模型邊界輪廓所產生的封閉區域，依設定之參數計算出刀具路徑。〕。
2. 利用平行刀軸的投影方式，經由定義一個角度或邊界輪廓，再定義刀間距的方式來產生一組驅動線 (Driver)；並將這組驅動線配合所指定的刀軸方向、公差，投影至加工曲面以產生刀具路徑。此種方式只有刀具與被加工曲面兩者的關係，並無參考到其他的因素，亦可稱為投影式精加工。

2.2 現有加工方式應用於浮雕工藝品

浮雕或雕塑式的工藝品往往有幾項明顯的特質，而這一些的特質也往往是實際上在 CNC 機械加工中的最大惡夢。茲就浮雕或雕塑式工藝品的特質及所造成加工上的影響敘述如下：

- 1、 工藝品之特徵凹凸起伏過多且無規律。
 - a、 等高式加工法：因加工模型邊界輪廓不連貫而產生很多區域。
 - b、 投影式加工法：
- 2、 工藝品之特徵與特徵之間的落差過大。
 - a、 等高式加工法：
 - b、 投影式加工法：因特徵凹凸起伏過多可能造成刀具插銑過深。
- 3、 工藝品之特徵過於細緻，需要使用到極小直徑的刀具切削。
 - a、 等高式加工法：特徵過細，不利於使用平銑刀或牛鼻銑刀等刀具。
 - b、 投影式加工法：若加工過深時，小刀具剛性不足容易偏擺及斷刀。
- 4、 工藝品之特徵資料常為逆向掃描、造型軟體建立；因為所產生的 3D 數位資料為三角網格面 (Triangular mesh)，所以無法針對工藝品之數位資料做修飾、更改。



圖 29、未處理前之平面影像檔



圖 30、轉浮雕曲面加影像貼圖(曲面及貼圖由 Rhinoceros 所製作)- [8]

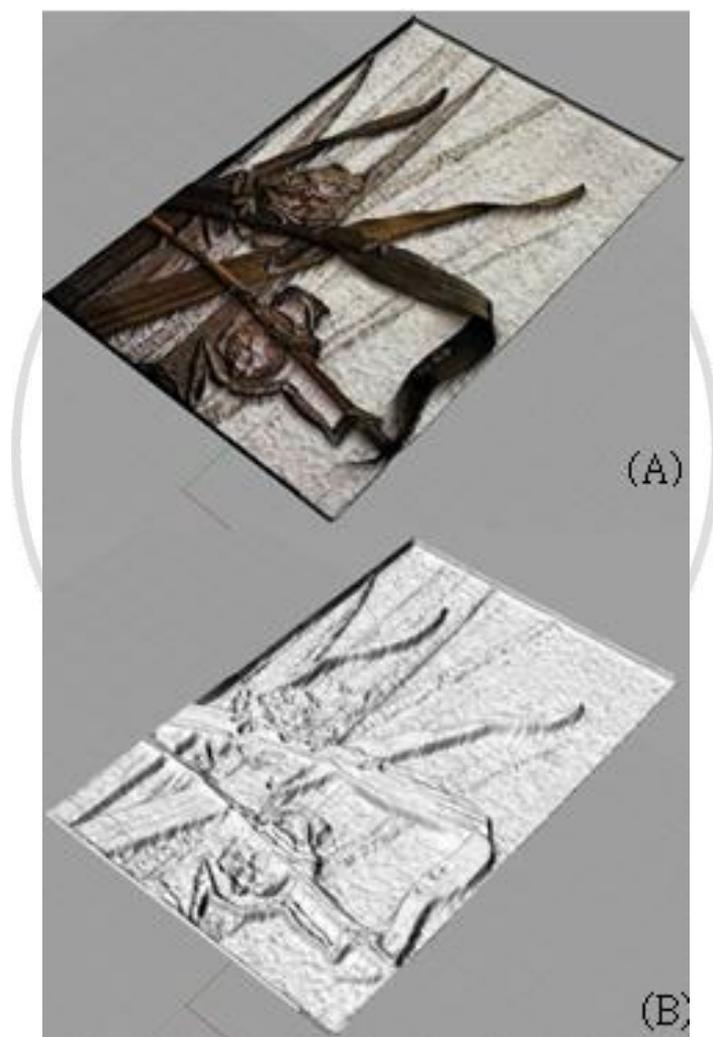


圖 31、圖 A 為浮雕曲面加影像貼圖效果，圖 B 為轉換後之浮雕曲面[8]

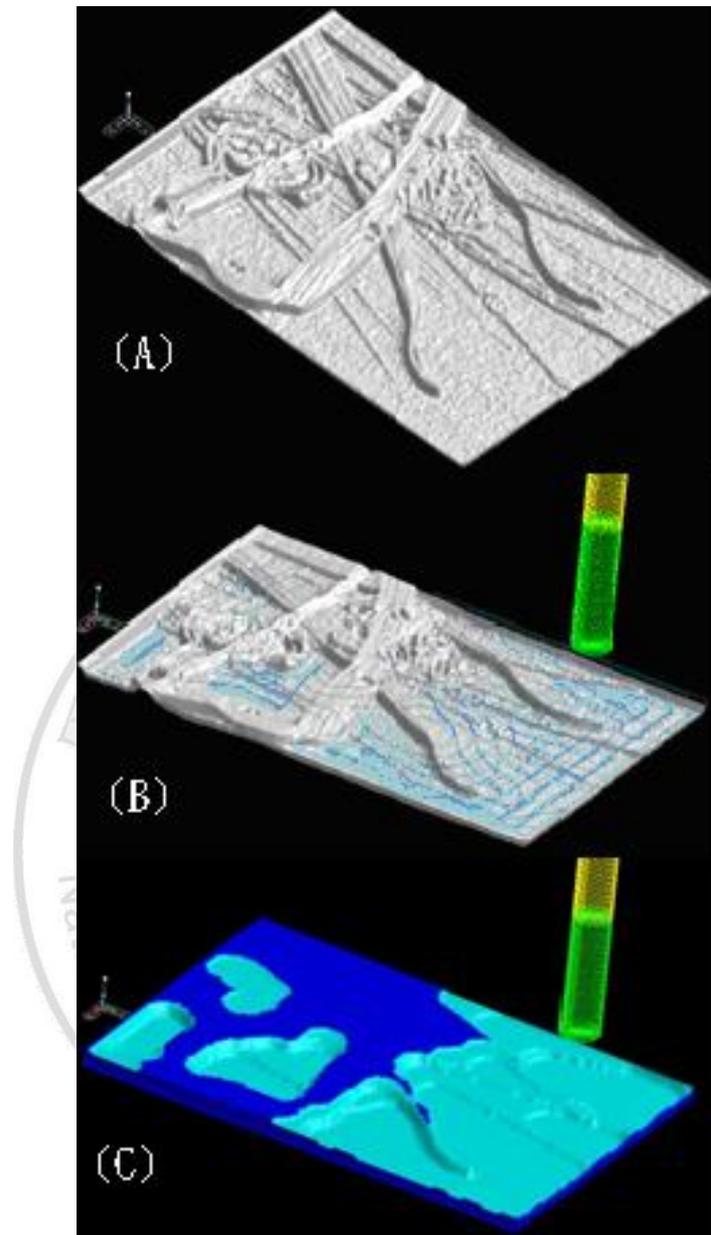


圖 32、圖 A 為欲加工之浮雕曲面、圖 B 藍色線條為使用 $\Phi 6$ 平銑刀做等高式加工
法所產生之刀具路徑、圖 C 為 $\Phi 6$ 平銑刀之實體模擬切削

(該影像及刀具路徑由 ShoeCAM 所製作) [5]

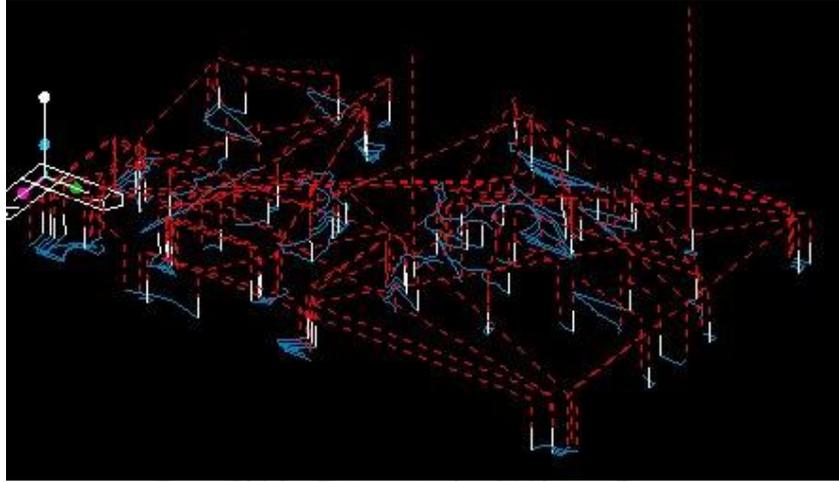


圖 33、 $\Phi 3$ 平銑刀等高式殘料再加工之刀具路徑，紅色為提刀、白色為進刀[5]

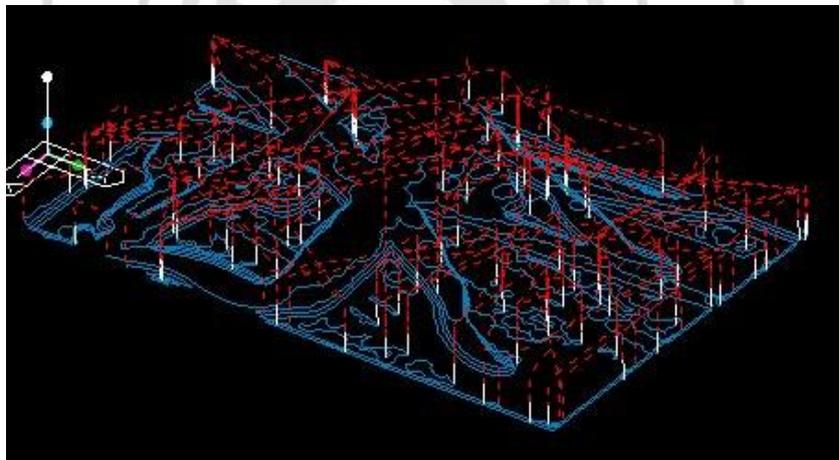


圖 34、 $\Phi 1.5$ 平銑刀等高式殘料再加工之刀具路徑，紅色為提刀、白色為進刀[5]

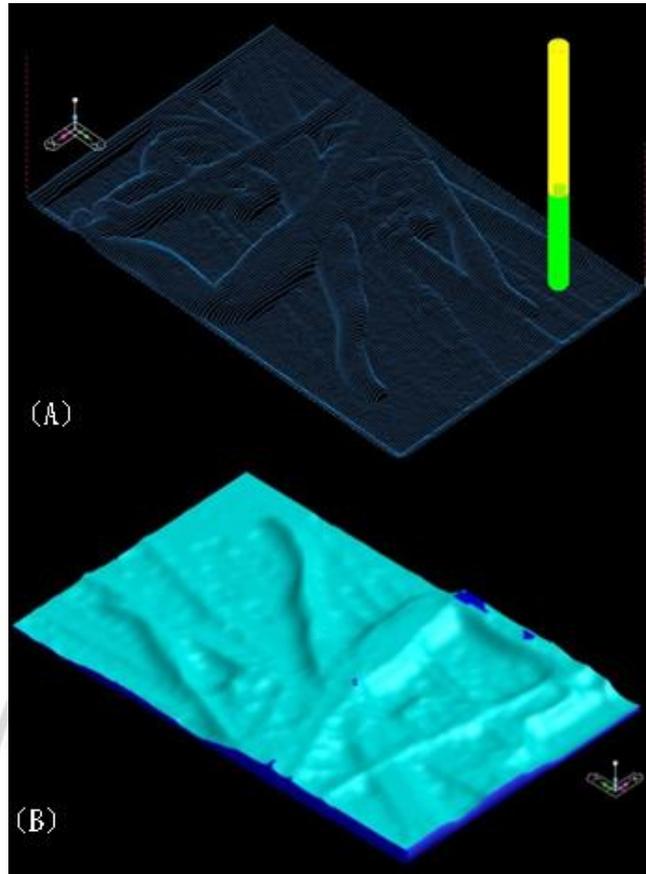


圖 35、圖 A 為使用球銑刀做投影式加工法所產生的刀具路徑、圖 B 為球銑刀之實體模擬切削[5]

如果有一個能夠融合這兩種切削加工計算原理的優點，而且又能夠避開這兩種切削加工計算原理的缺點，而演變出一種新的混合式加工方式，這樣一來對於現有的編程與加工者而言有非常大的幫助。尤其是對於浮雕或雕塑工藝產品的加工而言，更可以擺脫目前加工困難的窘境；進而提高加工產品的品質及生產效率，降低刀具磨耗、斷裂與機台的損耗。

2.3 以現有軟體做功能改善

在研究 CAM 編程軟體計算理論與實際的加工過程中，發現了可以利用現有軟體中的一種計算工法，將其稍做修改之後，便可以做出融合上述兩種加工方式優點的改良式計算工法。如此一來，在實際切削加工過程中便可以降低刀軸在垂直面時的切削過深與在平行面時的全刀切削問題。如此在切削時就不必擔心因切削不平均所造成的因刀具受力不均斷刀情況產生；這樣 CNC 機台也可以用高速切削方式來做切削加工，以提高加工效率，並且減少刀具提刀與下刀的頻率。

而此一種改良式刀具路徑的計算方式，先將其命名為”多層投影式加工”，此一加工法亦可分為粗加工模式與精加工模式等兩大加工部份；茲敘述如下：

壹、粗加工模式部份，使用圓鼻銑刀或球銑刀計算刀具路徑：

1. 加工深度第一層級，先利用垂直刀軸的等高方式來產生設定為第一層級深度的素材邊界或未切削材料邊界的封閉 (Close) 斷面輪廓曲線，並將其當成是最大的切削限制範圍 (Out loop)；再利用平行刀軸的投影加工方式將一組驅動曲線依刀軸方向投影至加工曲面群組的計算方式，產生往復式或環繞式投影加工的刀具路徑。

2. 加工深度第二層級時，先利用第一層級的深度與欲加工曲面群組邊界所產生的封閉 (Close) 斷面輪廓曲線當成為內部切削限制範圍 (In loop)，以做為避免切削的區域；然後再利用本層級深度的素材邊界或未切削材料邊界所產生的封閉 (Close) 斷面輪廓曲線，並將其當成是該層級的最大切削限制範圍 (Out loop)。利用平行刀軸的投影加工方式將一組驅動曲線依刀軸方向投影至加工曲面群組的計算方式，產生往復式或環繞式投影加工的刀具路徑。
3. 加工深度第三層級時，先利用上一層級的深度與欲加工曲面群組邊界所產生的封閉 (Close) 斷面輪廓曲線當成為內部切削限制範圍 (In loop)，以做為避免切削的區域；然後再利用本層級深度的素材邊界或未切削材料邊界所產生的封閉 (Close) 斷面輪廓曲線，並將其當成是該層級的最大切削限制範圍 (Out loop)。利用平行刀軸的投影加工方式將一組驅動曲線依刀軸方向投影至加工曲面群組的計算方式，產生往復式或環繞式投影加工的刀具路徑。
4. 重複加工步驟 3，直到加工路徑計算至設定的最後一層級深度為止。
5. 經由以上動作，完成了產品的粗加工步驟。

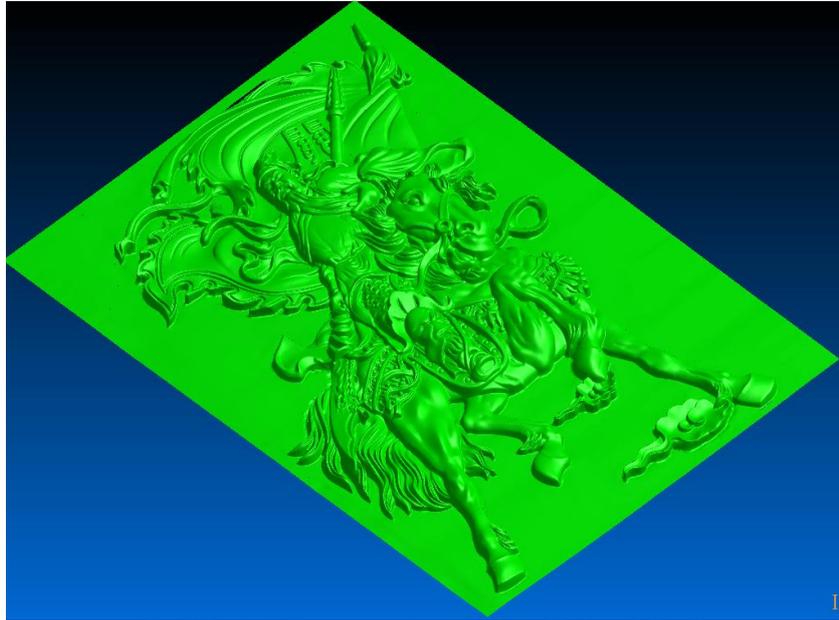


圖 36、利用逆向掃描重建，具有強烈特徵變化的浮雕曲面[5]

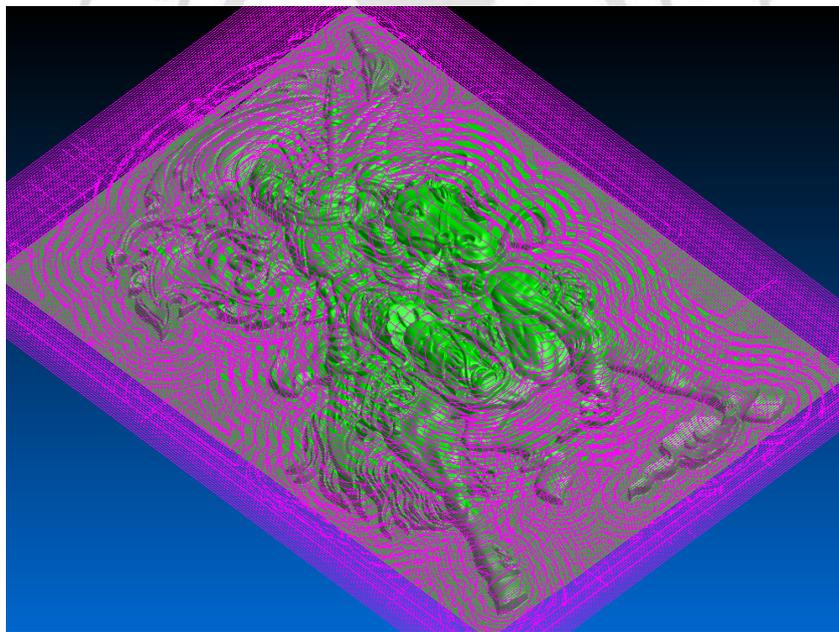


圖 37、多層投影式加工法之粗加工計算所產生的刀具路徑(等角視圖)[5]

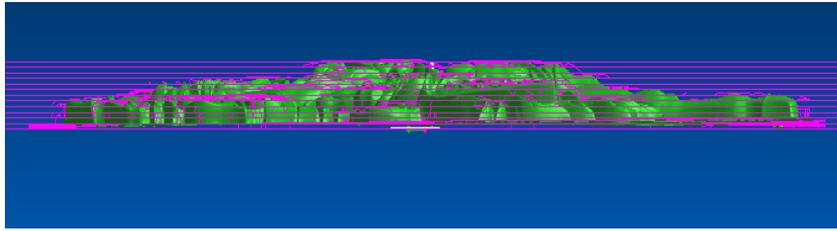


圖 38、多層投影式加工法之粗加工計算所產生的刀具路徑(側視圖)[5]

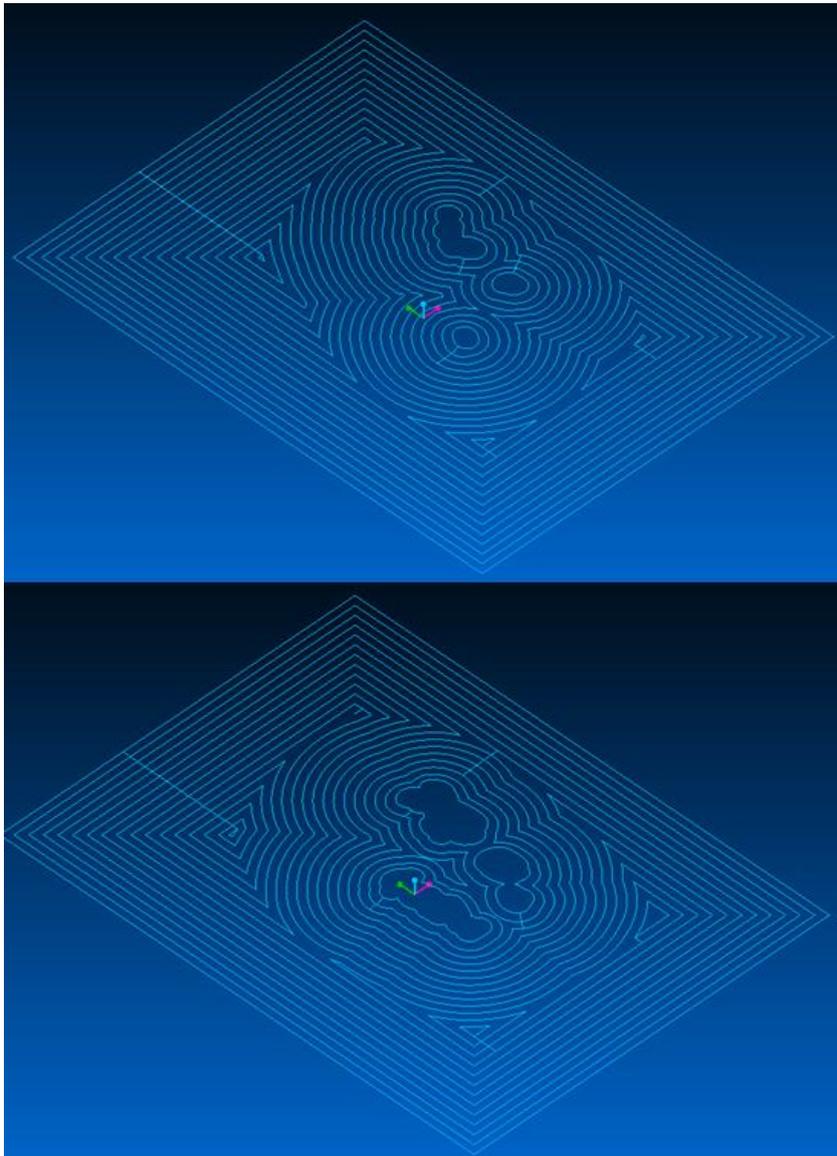


圖 39、多層投影式加工，不同深度層級產生之刀具路徑 1/2(等角視圖)[5]

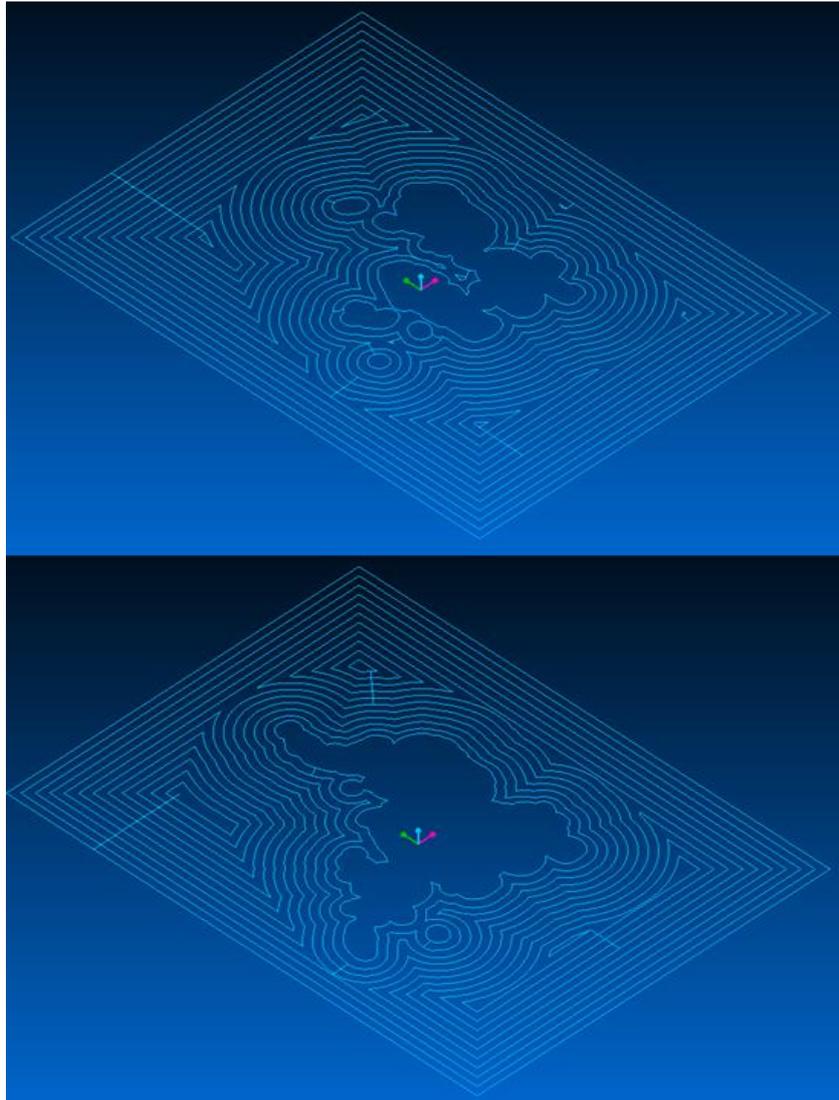


圖 40、多層投影式加工，不同深度層級產生之刀具路徑 2/2(等角視圖)[5]

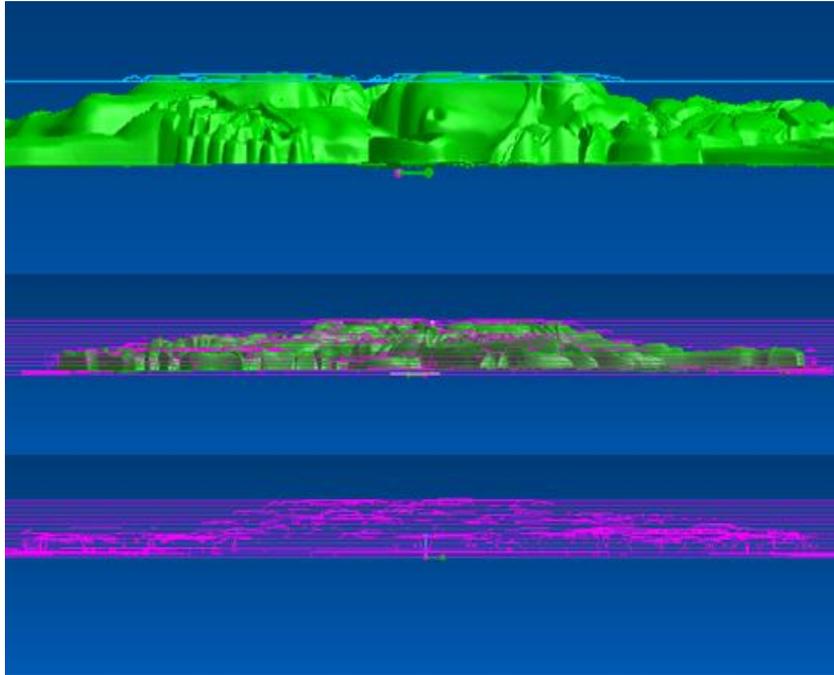


圖 41、多層投影式加工，不同的深度層級及加工的刀具路徑(側視圖)[5]

貳、精加工模式部份，使用球銑刀計算刀具路徑：

1. 加工深度第一層級時，先利用垂直刀軸的等高方式來產生設定為第一層級深度與欲加工曲面群組邊界所產生的封閉 (Close) 斷面輪廓曲線，並將其當成是最大的切削限制範圍 (Out loop)；然後再利用平行刀軸的投影加工方式將一組驅動曲線依刀軸方向投影至加工曲面群組的計算方式，產生往復式或環繞式投影加工的刀具路徑。
2. 加工深度第二層級時，先使用第一層級的深度與欲加工曲面群組邊界所產生的封閉 (Close) 斷面輪廓曲線當成為內部切削限制範圍 (In loop)，以做

為避免切削的區域；然後再利用本層級深度與欲加工曲面群組邊界所產生的封閉（Close）斷面輪廓曲線當成外形的最大限制範圍（Out loop）；最後再用平行刀軸的投影加工方式將一組驅動曲線依刀軸方向投影至加工曲面群組的計算方式，產生往復式或環繞式投影加工的刀具路徑。

3. 加工深度第三層級時，先使用上一層級的深度與欲加工曲面群組邊界所產生的封閉（Close）斷面輪廓曲線當成為內部切削限制範圍（In loop），以做為避免切削的區域；然後再利用本層級深度與欲加工曲面群組邊界所產生的封閉（Close）斷面輪廓曲線當成外形的最大限制範圍（Out loop）；最後再用平行刀軸的投影加工方式將一組驅動曲線依刀軸方向投影至加工曲面群組的計算方式，產生往復式或環繞式投影加工的刀具路徑。
4. 重複加工步驟3，直到加工路徑計算至設定的最後一層級深度為止。
5. 經由以上動作，完成了產品的精加工步驟。

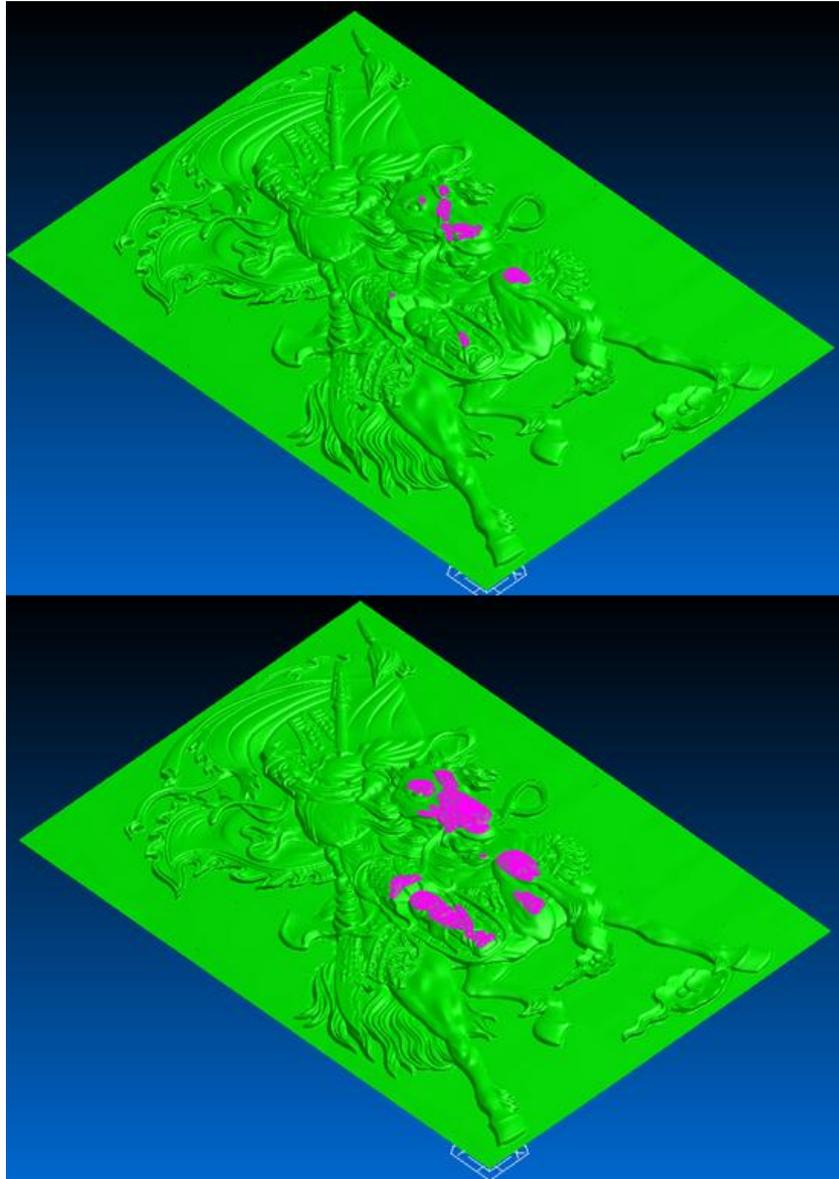


圖 42、多層投影式加工法做精加工計算所產生刀具路徑，由不同深度層級所產生的刀具路徑 1/3；刀具路徑因深度變化而開始擴散(等角視圖) [5]

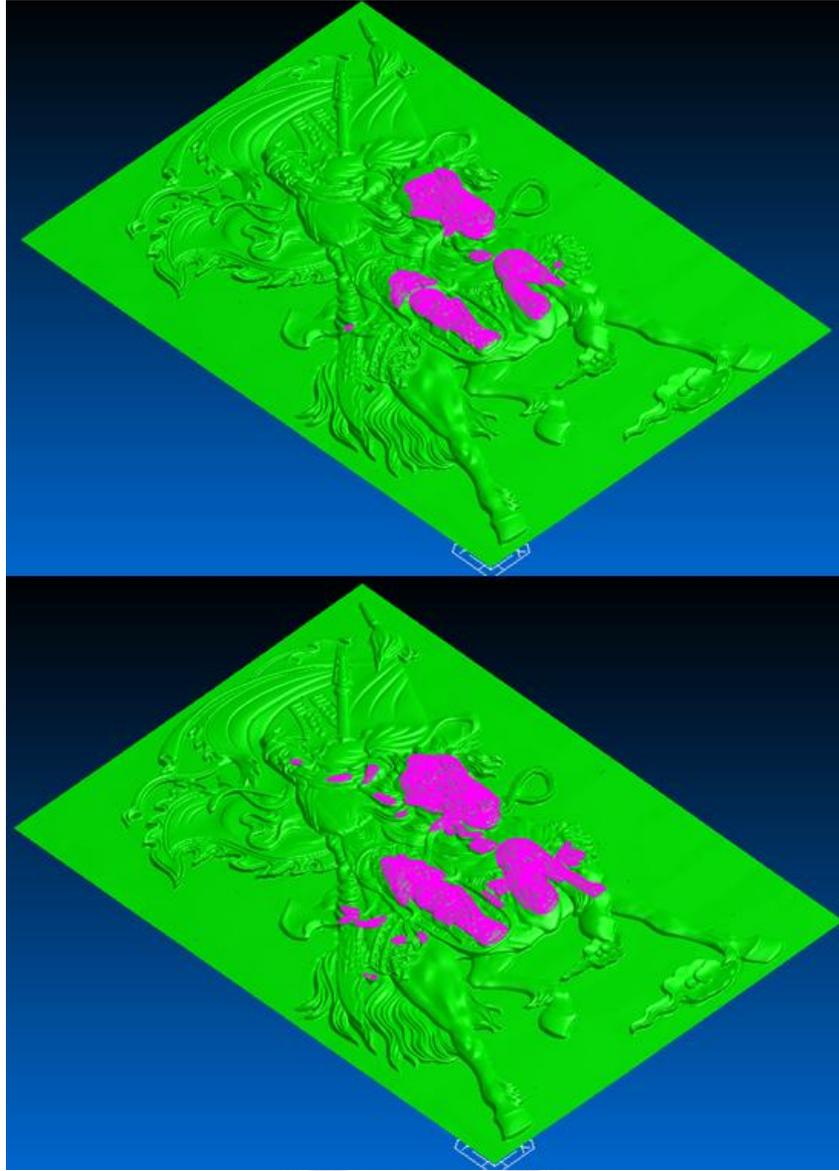


圖 43、多層投影式加工法做精加工計算所產生刀具路徑，由不同深度層級所產生的
的刀具路徑 2/3；刀具路徑因深度變化而開始擴散(等角視圖) [5]

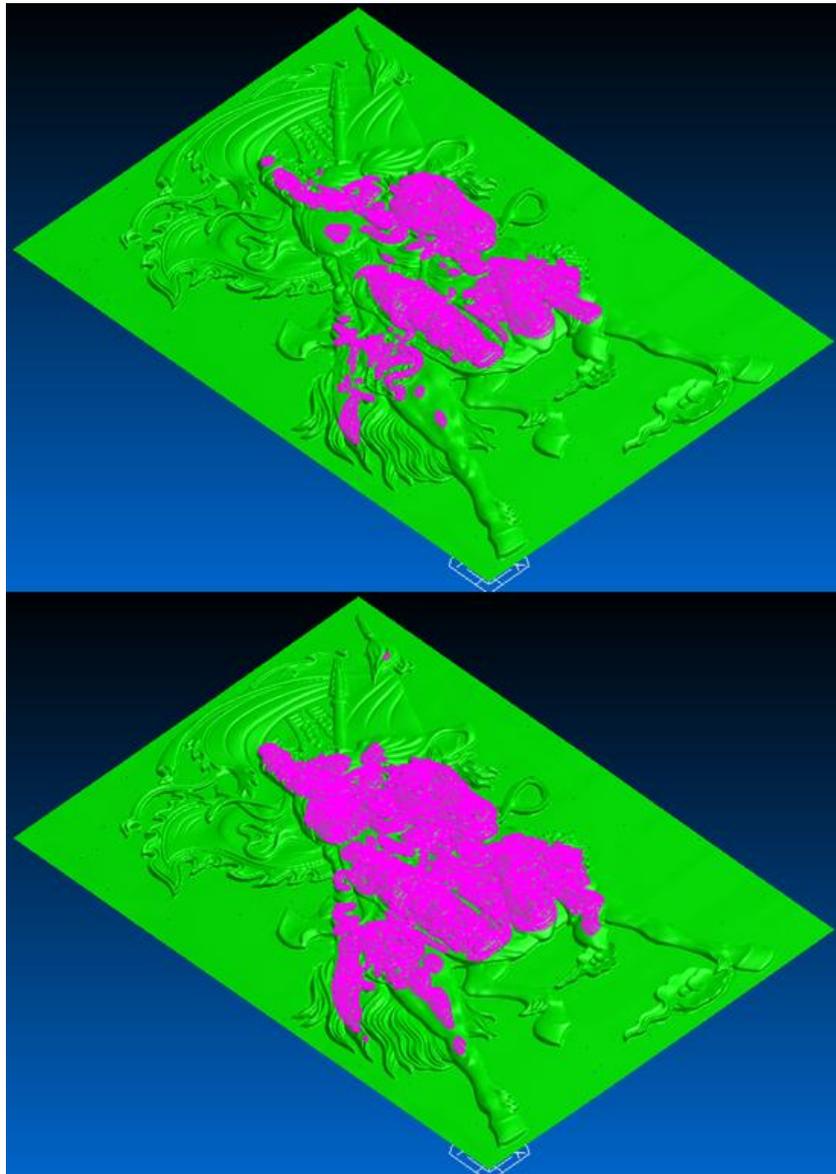


圖 44、多層投影式加工法做精加工計算所產生刀具路徑，由不同深度層級所產生的
的刀具路徑 3/3；刀具路徑因深度變化而開始擴散(等角視圖) [5]

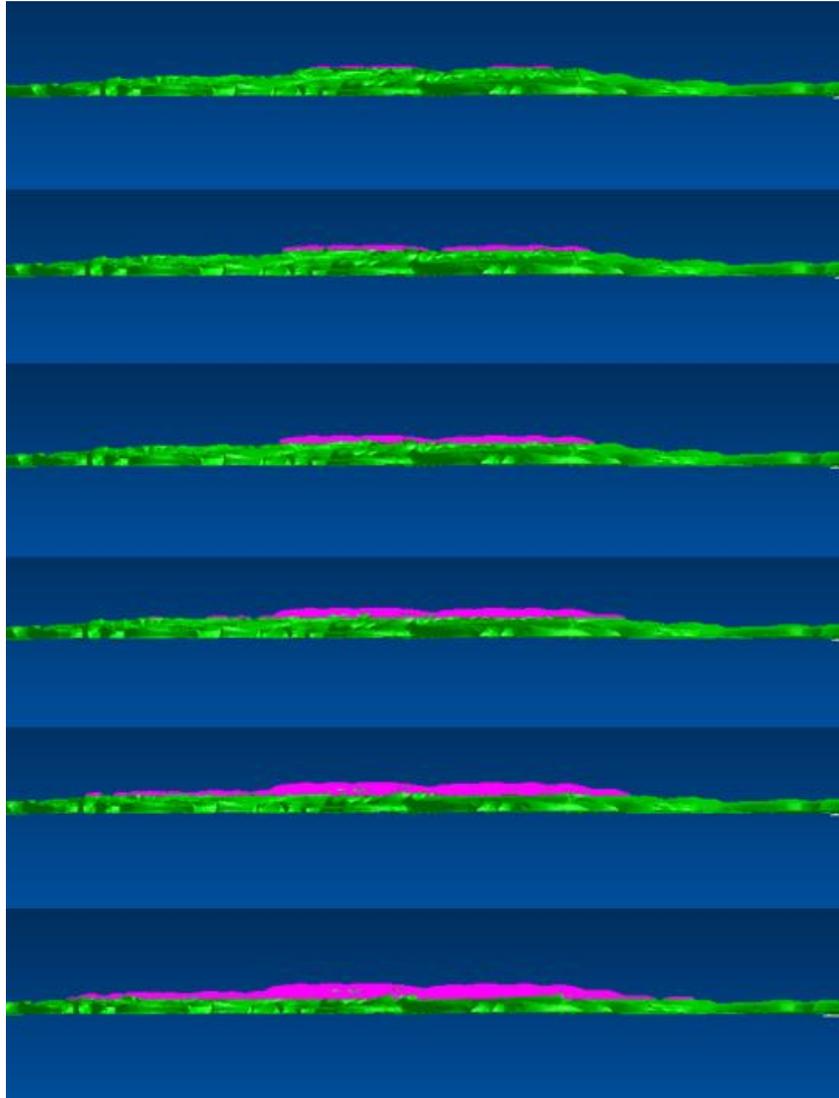


圖 45、多層投影式加工法做精加工計算所產生刀具路徑，由不同深度層級所產生的刀具路徑；刀具路徑因深度變化而開始擴散(側視圖) [5]

2.4 多層投影加工優缺點分析

使用多層投影加工在粗加工與精加工兩種模式下所產生的刀具路徑，可以避免刀具的切削不平均；以下就將使用改良式的計算法，所產生出來的刀具路徑

的優缺點，敘述如下：

一、優點：

- 1、 多層投影加工模式在粗加工的部分，是採用等高式粗加工的計算原理來產生每一層級加工深度的切削範圍，將素材邊界或未切削材料邊界所產生的封閉（Close）斷面輪廓曲線當成是最大的切削限制範圍（Out loop），所以有充份考慮到素材或未切削材料的部份。
- 2、 粗加工的部分從第二層級的切削開始，因為使用了上一層級的深度與欲加工曲面群組邊界所產生的封閉（Close）斷面輪廓曲線當成為內部切削限制範圍（In loop），以做為避免切削的區域；而非傳統的是以該層級深度與欲加工曲面群組邊界所產生的封閉（Close）斷面輪廓曲線當成為內部切削限制範圍（In loop），以做為避免切削的區域。這樣的邏輯觀念就可以涵蓋到原來因傳統等高式粗加工計算方式所造成的兩個層級之間未能切削到的區域，而不會造成留料量的不平均。
- 3、 傳統的等高式粗加工模式，其刀具路徑的產生方式，是先定義該層級的深度做為軟體計算的加工深度，然後再利用內部切削限制範圍（In loop）與外部的最大切削限制範圍（Out loop）來做內外輪廓的偏置（Offset）而產生出

刀具路徑。而新的多層投影加工模式，刀具路徑的運算邏輯，則是改採用了平行刀軸的投影加工方式，將一組驅動曲線依刀軸方向投影至加工曲面群組的計算方式，產生出往復式或環繞式投影加工的刀具路徑。

如此的運算邏輯就可以完全的將原本兩個層級之間不能夠被切削到的區域，可以依照其曲面群組的特徵性來做出投影式的加工路徑；這樣可以讓原本使用傳統等高式粗加工計算方式所造成未能切削到的殘料區域，改變成可以與原曲面群組保持著依照所設定距離的等距離留料量，而非傳統等高式粗加工模式所計算出來的非固定距離的階梯式留料量。

- 4、多層投影加工模式在精加工的部分，則是採用了等高式加工的計算原理來產生每一層級加工深度的切削範圍；將欲加工曲面群組邊界所產生的封閉（Close）斷面輪廓曲線當成是最大的切削限制範圍（Out loop），然後用平行刀軸的投影加工方式將一組驅動曲線依刀軸方向投影至加工曲面群組的計算方式，產生往復式或環繞式投影加工的刀具路徑。這樣的運算邏輯在於只讓軟體運算產生出該層級深度以上的加工路徑，低於高層級深度以下的刀具路徑並不會產生；這樣的概念在於防止刀具做出過深的插銑切削動作，可以有效的降低刀具因重切削、排屑問題所造成的斷刀現象（因為多層投影加工

的刀具路徑比較像等高加工的方式；是將一個層級深度內符合條件的區域全部加工完成之後，再進行下一個級深度內符合條件的區域做全部加工，直到所設定的深度完全加工完成。）。甚至在某些情況之下甚至可以減少刀具的夾持長度，可避免刀具偏擺現象或刀把碰撞工件的情況發生（當被加工的工件在由與刀軸平行方向（即所謂側視圖、正視圖等）所產生的特徵輪廓陡峭度不是很劇烈時，所夾持的刀具長度就可以適當地減短。）。

- 5、 精加工的部分從第二層級的切削開始，因為使用了上一層級的深度與欲加工曲面群組邊界所產生的封閉（Close）斷面輪廓曲線當成為內部切削限制範圍（In loop），以做為避免切削的區域；然後再利用每一層級加工深度的切削範圍，來將欲加工曲面群組邊界所產生的封閉（Close）斷面輪廓曲線當成是最大的切削限制範圍（Out loop）。這樣的邏輯觀念就類似有著內、外限制範圍的投影式精加工的功能。只是多層投影加工不但可以控制到刀具的加工範圍（與刀軸垂直的平面，通常是 $X-Y$ 平面。）；而且可以更準確地限制住刀具的加工深度（與刀軸平行的方向，通常是 Z 軸。）。
- 6、 精加工的部分從第三層級的切削開始，開始使用了該層級以上所有層級的深度與欲加工曲面群組邊界所產生的封閉（Close）斷面輪廓曲線；先將其做布

布林式（聯集）的運算，用以產生出最大交集的封閉輪廓曲線，再用這些封閉輪廓曲線當成是內部切削限制範圍（In loop），做為避免切削的區域。這樣的運算邏輯觀念是為了考量到，當被加工的工件中有些特徵位置可能會有倒扣的情況產生時；若未做布林式運算（聯集）處理，若這些特徵位置出現倒扣情況時，則在切削到 Z 值較深位置時，會與切削 Z 值較淺位置的已加工過區域產生重複加工的現象，如此會浪費實際的加工時間。

- 7、 因為切削的深度變化已被控制，所以在不必擔心切削特徵變化過度的情況下，可以將實際加工的切削進給量速度加快；如此可以讓機台實際達到預設的速度做 100% 的切削進給，避免被現場的 CNC 機台操作人員用機台降速方式'降低實際的切削速度（在現場的實際切削加工中，CNC 機台操作人員往往會因為加工中留料量不平均，所造成的在切削時刀具切削量不穩定的情況下產生出的切削聲音變化很大，而將機台的切削進給量用機台降速方式'降低來實際的切削速度；其實這只是掩耳盜鈴的動作，並無法改變刀具切削不平均的實際狀況。在某些的情況下反而增加所使用的刀具磨耗，及機台的不當損耗，只是一種治標不治本的方式！）。

- 8、 因為切削深度的控制，所以比較不會再有產生劇烈的特徵變化；所以刀具更換的變化值，約可以由之前需要的 50% 以上的變化量縮小到 35% 的變化量(每一把更換後的刀具直徑不得小於上一把刀具的刀半徑的情況可以改善。)。如此一來就可以減少刀具更換的頻率。

二、缺點：

- 1、 由於每一個可加工的曲線輪廓都是由所設定的層級深度與欲加工曲面群組邊界所產生的封閉 (Close) 斷面輪廓曲線；此時若未能將每一層級的封閉 (Close) 輪廓曲線做好順序的排序，並與下一層級再做順序的排序，會造成機台在加工中遇到提刀時的移動距離未最佳化，提高加工時間。
- 2、 所產生的斷面輪廓曲線的形狀與大小並無法預測。容易造成刀具的提刀與下刀頻率，一些較小範圍的封閉輪廓位置也會加工，增加了加工時間。
- 3、 較適合高速機台加工；傳統機台因為控制器的運算能力、預讀能力不足及主軸轉速過低，無法進行高速切削。使用此一加工方式無法明顯提升效率。
- 4、 所使用的刀具要求較嚴格；高速機切削的原理是採用主軸高轉速、進給高速、較小切削量的加工方式。因為轉速與切削進給速度提升，所以刀具材質

的硬度與耐磨耗度要求更嚴，否則會因為刀具的磨耗問題而造成加工曲面群組上的落差痕跡。

- 5、若使用環繞式的切削，因為機台本身的物理性質，在加工中控制器的加減速落差會比往復式的切削還大，會因加工曲面特徵差異而有所不同。若使用往復式的切削，會因輪廓形狀與切削角度的選擇而產生提刀與下刀；需要透過軟體的修正將運算邏輯更改為不提刀方式（可以使用 a、同一輪廓內遇到提刀點時依照已加工路徑前進至下刀點後繼續切削加工。b、不同的輪廓部分，增加一個參數可設定最短的 2D 連接距離，將第一個輪廓的刀具路徑提刀點與第二個輪廓刀具路徑的下刀點連一直線後投影至加工的曲面群組；再將這條刀具路徑依設定距離提高，如此可以避免連接的刀具路徑與加工的曲面群組有所接觸。）。

2.5 高速加工與傳統加工之差異

High Speed Cutting (HSC)，中文翻譯為高速加工；強調在提高主軸的轉速之下，不僅可以提升切削速度，也降低加工件的表面粗糙度，是近年來 CAD/CAM 業界最夯的主流話題。所謂高速加工，廣義的解釋：

1. 主軸高轉速。
2. 進給高速度。
3. 高材料移除率。
4. 在主軸高速轉動及機台快速移動中，以微量之刀具切削量(橫向進給或切深進給)，快速地切削需移除之材料；此時的刀具受力極小，切削所產生的熱能因為機台的快速移動而不殘留於工件上，而是被切削液（一般高速機採用油霧冷卻裝置）所冷卻降溫及由切屑所帶走。
5. 被加工工件表面擁有良好的粗糙度。

高速加工是集合了新材料技術、電腦技術、控制技術和精密製造技術等多項新技術綜合而成的[9]；所以要達到高速加工的目的，其實是需要多方面的配合。只要其中一個環節沒有配合好，輕則造成加工效率不佳，嚴重者會使刀具斷裂，甚至造成機器主軸的損壞。

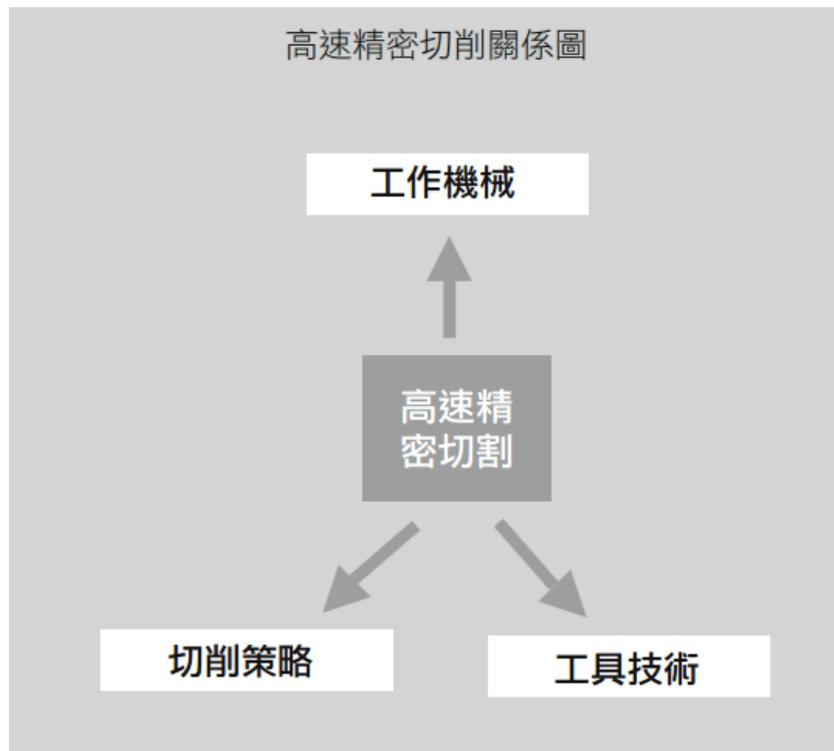


圖 46、高速精密切削關係圖[9]

壹、工具機部份：

一、主軸：

- 1、 扭力、高轉速與動平衡。
- 2、 主軸冷卻系統，控制主軸溫昇、防止熱變形。
- 3、 主軸潤滑系統，使高速軸承不發熱，及擁有良好潤滑。

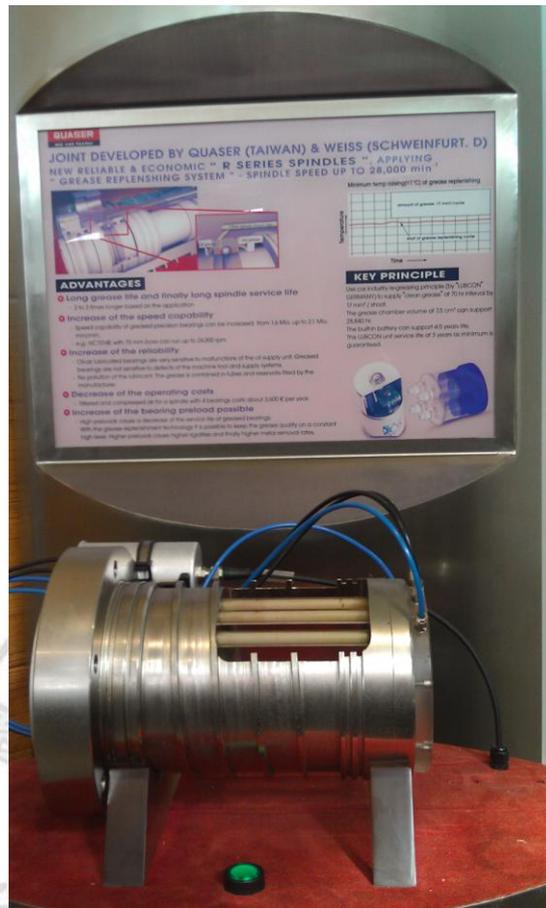


圖 47、改良型主軸，具有定時自動供油潤滑功能[10]

二、床台機身：

1、高剛性（靜態剛性、動態剛性、溫昇剛性）。

2、重複定位精度。

3、減少傳動系統的背隙、節距誤差。

三、控制系統：

1、CPU 運算能力強、加減速落差小。

2、預讀能力高、記憶體緩衝區大。

3、 具備高速高精功能、Nurbs 曲線功能

4、 高速、高扭力馬達，高分辨率編碼器

Fanuc公司30i-A和31i-A5 系控制器

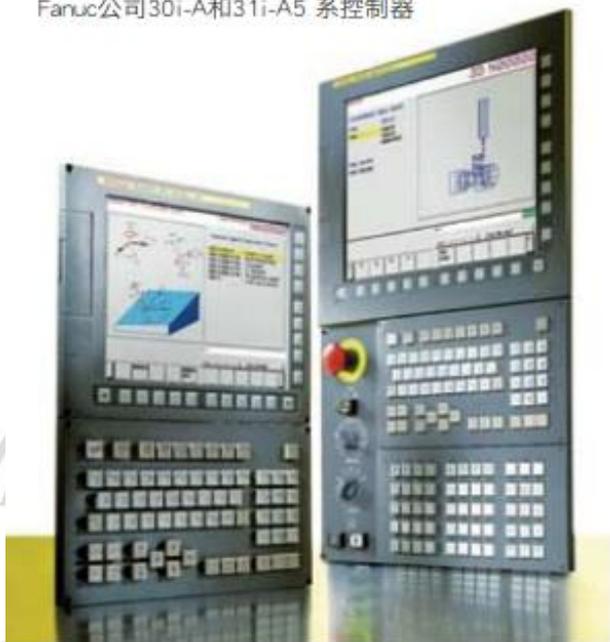
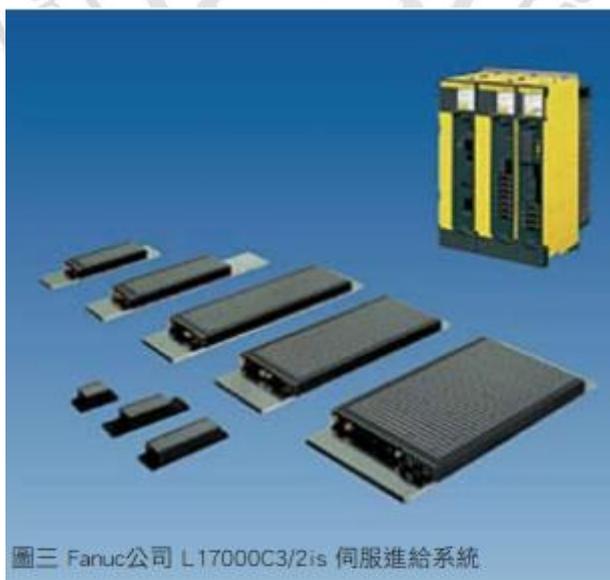


圖 48、Fanuc 高速高精控制系統[9]



圖三 Fanuc公司 L1700C3/2is 伺服進給系統

圖 49、Fanuc 高速高精伺服進給系統[9]

貳、切削系統部份：

一、刀把：

1、筒夾固定精度。

2、刀把錐度精度。

3、刀把偏擺校正。



圖 50、高速加工刀把與切削刀具夾持方式 1/5[11]



圖 51、高速加工刀把與切削刀具夾持方式 2/5[11]

縮配式夾持之工具 Tools for shrink Clamping holder



圖 52、高速加工刀把與切削刀具夾持方式 3/5[11]

刀具之液壓夾持方式 Hydraulic Clamping method

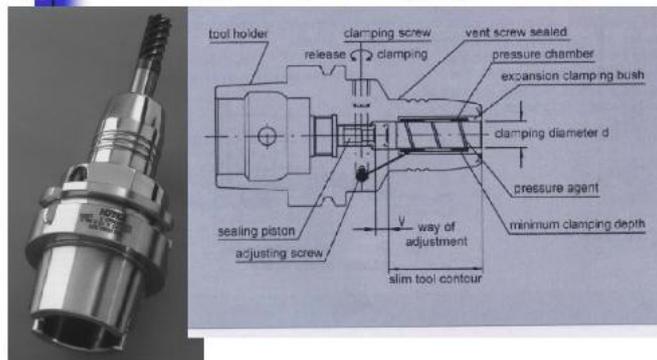


圖 53、高速加工刀把與切削刀具夾持方式 4/5[11]

刀具之三點夾持方式 3-Point Clamping method

A: 原始形狀 B: 三點加力 C: 放入刀具 D: 刀具夾緊

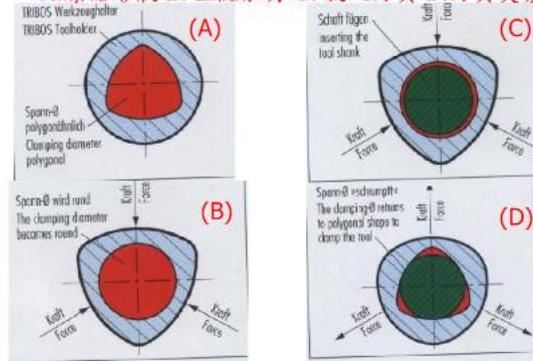


圖 54、高速加工刀把與切削刀具夾持方式 5/5[11]

主軸、刀柄及切削刀具之平衡 Balance of Spindle & Shank & tools

主軸與刀柄不平衡(Unbalance):

- 當慣性軸(重心軸)與幾何旋轉中心軸不平衡時，稱之不平衡旋轉。

離心力(Centrifugal force):

旋轉軸(Rotational axis)

衝擊力(impact force)

圖 55、主軸、刀把、刀具平衡因素分析[11]

切削刀具不平衡 Cutting tools unbalanced

不平衡(Unbalance):重心軸與旋轉中心軸不平衡

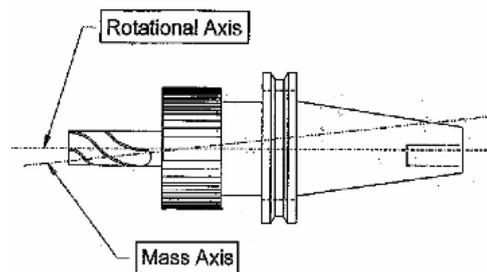


圖 56、刀把、刀具不平衡因素分析[11]

切削刀具平衡 Cutting tools balanced

平衡(balance):重心軸與旋轉中心軸平衡(重合)

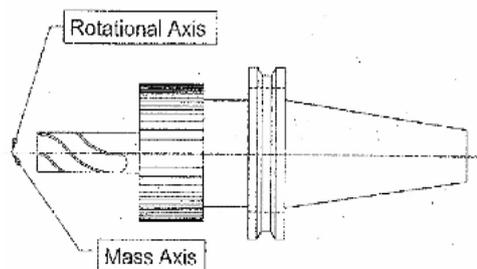


圖 57、刀把、刀具平衡要素分析[11]

二、刀具：

- 1、 刀具高密度、高強度。
- 2、 刀具高硬度、抗衝擊。
- 3、 刀具耐磨性、耐熱性。
- 4、 刀具研磨精度、低偏擺度。
- 5、 刀具表面塗層材質。

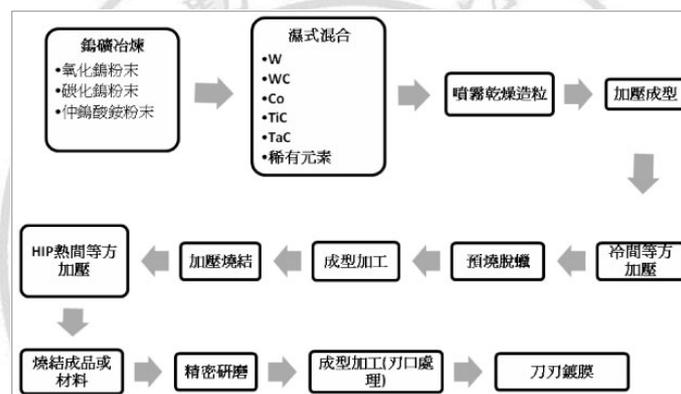


圖 58、切削刀具製造流程[12]

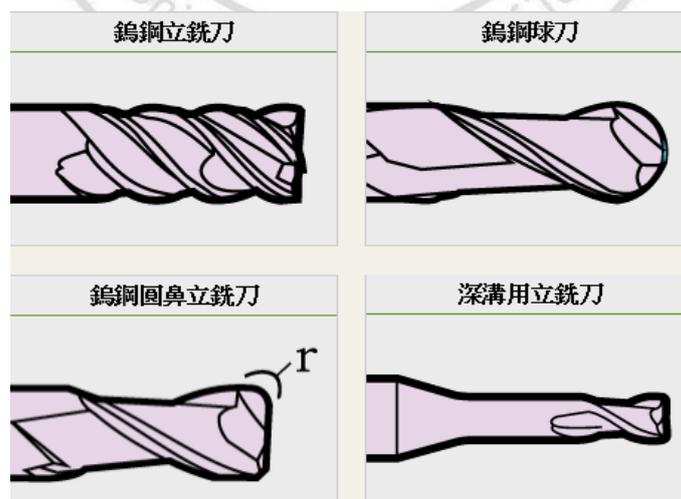


圖 59、常用 CNC 切削刀具種類[12]



圖 60、表面塗層刀具[9]

參、CAD/CAM 軟體應用部份：

一、CAD：

- 1、 曲面表面光滑度。
- 2、 曲面建構完整性。
- 3、 曲面與曲面的邊界間隙。
- 4、 不加工特徵的移除或隱藏。

二、CAM：

- 1、 島嶼／外部進刀；挖槽／螺旋、斜進刀。
- 2、 分層等高切削；平均切屑移除率。
- 3、 轉角減速、圓弧化。
- 4、 減少程式提下刀。

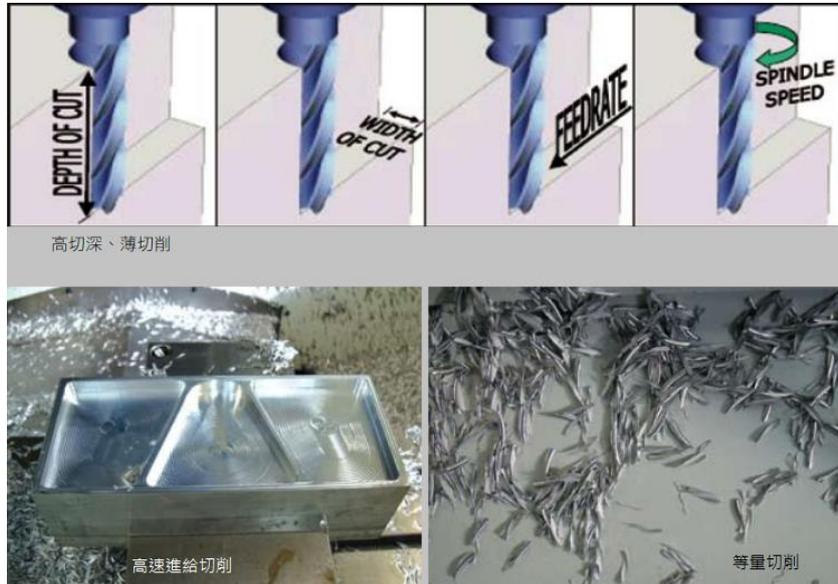


圖 61、CAM 編程要領[9]

高速加工與傳統加工

High Speed Machining

Comparison of conventional vs. high speed machining

Indexable tools (face mills)

Work material	Conventional speed		High speed	
	m/min	ft/min	m/min	ft/min
Aluminum	600+	2000+	3600+	12,000+
Cast iron, soft	360	1200	1200	4000
Cast iron, ductile	250	800	900	3000
Steel, alloy	210	700	360	1200

Source: Kennametal Inc.

圖 62、不同材料高速與傳統加工比較[11]

第三章 研究結果與討論

3.1 使用軟硬體設備規格

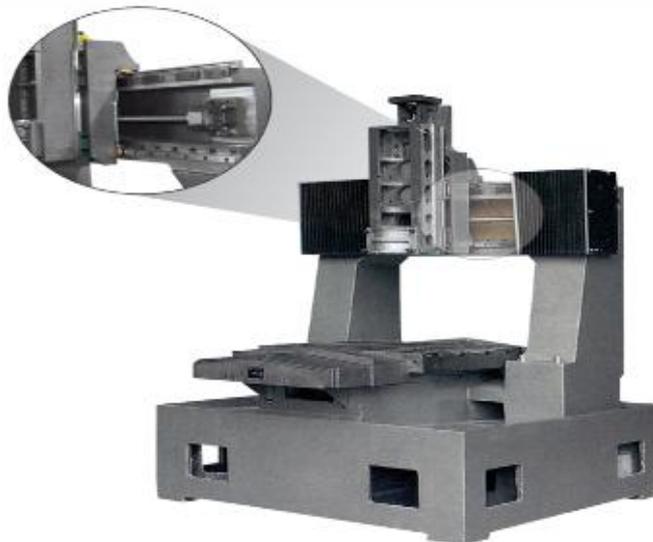
壹、工具機：泉州伊士曼數控機械有限公司[13]生產的”SFA-650”小型龍門高速雕銑機，主軸可達到的最高轉速 22,000RPM。

貳、控制系統：台灣智研科技有限公司[14]生產的”ME3”銑床控制器。

參、逆向設備：北京天遠三維科技有限公司[15]生產的”OKIO-II”系統

肆、CAD 逆向軟體：美國 Geomagic, Inc. [16]生產的”Geomagic Studio 2012”

伍、CAM 編程軟體：為台灣寶元科技[5]的”ShoeCAM”



SFA-650高速數控雕銑機

圖 63、泉州伊士曼 SFA-650 小型龍門高速雕銑機，主軸 22,000RPM [13]

ME3 銑床控制器

- ME3 為經濟型銑床 CNC 控制器，可控制 3 個軸及 1 個主軸，如有需要還可追加一個軸，其餘向控制採用完全硬體設置的半封閉迴路控制（位置模式），主軸仍使用位置指令以確保穩定性，定位速度可至 1500 rpm，高速高精模式定備一組。
- 裝箱及鍵盤可使用標準市售 PC (個人電腦) 商品，亦可選用智研規格品。
- 內建網路功能，可與個人電腦連接，上傳與下載 CNC 加工程式。
- USB 隨身碟連接功能可讀寫 USB 內 CNC 加工程式。
- PLC 輸出入點數為 16 輸入、16 輸出，可增至 64 輸入、64 輸出。
- 高價位低價功能中，因此可應用於小型銑床、小型加工中心、木工銑床、小型雕刻機、小型鑽銑中心機、臥式銑床、臥式加工中心機等。
- 本控制器是特殊貨品管制範圍，詳情請與本公司業務人員洽談。



圖 64、台灣智研科技有限公司的 ME3 銑床控制器，具有高速高精模組[14]



圖 65、此次加工所使用的小型龍門式高速雕銑機



OKIO-II

产品型号	OKIO-II				
	OKIO-II-1000	OKIO-II-400	OKIO-II-200	OKIO-II-100	OKIO-II-D
单面扫描范围 (mm ²)	1000×750-400×600	400×300-200×150	200×150-100×75	100×75-50×35	定制
测量精度 (mm)	0.06-0.025	0.025-0.015	0.015-0.008	0.008	
平均采样点距 (mm)	0.62-0.25	0.25-0.13	0.13-0.06	0.06-0.03	
传感器 (像素)	2,000,000×2				
单面扫描速度	<5s				
扫描方式	非接触				
拼接方式	标志点全自动拼接				
精度控制方式	内置GREC全局误差控制模块；支持三维摄影测量系统（照相定位）				

圖 66、北京天遠三維科技有限公司的 OKIO—II 系統，在數據採樣具有極高的準確率；是目前中國國產品牌的龍頭[15]



圖 67、美國 Geomagic, Inc. 的 Geomagic Studio 是逆向工程的先驅[16]

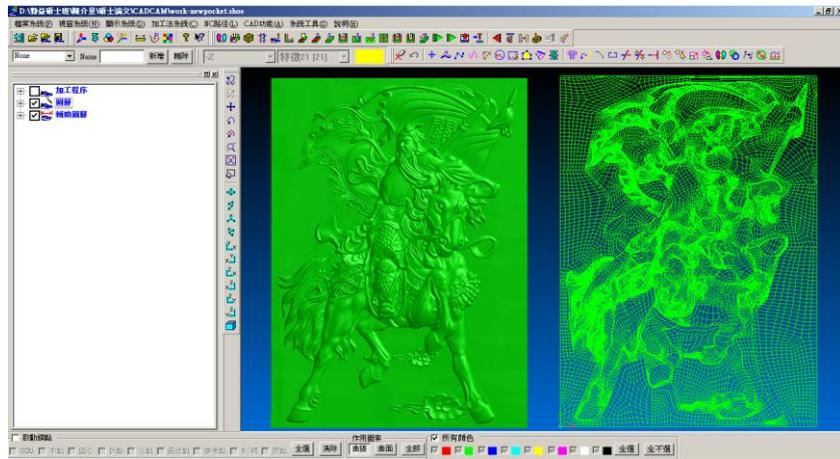


圖 68、台灣寶元科技的 ShoeCAM，是一套容易上手的 CAM 編程軟體[5]

透過了上述的軟、硬體及一些週邊設備的整合，完成了這次實際加工測試；

這次的加工測試總共使用了三種的不同加工方式：a、等高加工模式，b、投影加工模式，c、多層投影加工模式；並希望能藉由實際的切削加工來驗證所探討的加工理論方向是正確的。

3.2 使用等高加工模式的切削加工

壹、相關參數設定：

程式名稱(*.shoe) work-pocket		加工尺寸(X, Y, Z/mm) 145, Y200, Z-6			
刀具尺寸(mm)	Ø12	Ø 6	Ø 4	R2	R1
刀具形式	平銑刀	平銑刀	平銑刀	球銑刀	球銑刀
加工類型	等高粗加工	殘料等高再加工	殘料等高再加工	往復式投影中加工	往復式投影精加工
刀間距離(mm)	5.85/Z0.5	2.85/Z0.5	1.85/Z0.5	0.5	0.1
主軸轉速(rpm)	16,000	18,000	20,000	20,000	22,000
下刀進給(mm/min)	80	80	80	80	80
切深進給(mm/min)	1,500	1,800	2,000	2,000	2,500
程式加工時間(分:秒)	31:54	8:54	11:18	30:06	2:01:36
機台加工時間(分:秒)	36:55	16:55	27:46	37:55	2:41:07
誤差時間(分:秒)	5:01	8:01	16:28	7:49	39:31
誤差百分比(%)	86.41%	52.61%	40.70%	79.38%	75.47%
實際加工時間(時:分:秒)	4 小時 : 40 分 : 38 秒				

表 2、使用等高加工模式的切削加工參數表

貳、實際切削加工：



圖 69、 $\varnothing 12$ 平銑刀等高粗加工 1/5



圖 70、 $\varnothing 6$ 平銑刀殘料等高再加工 2/5



圖 71、Ø4 平銑刀殘料等高再加工 3/5



圖 72、R2 球銑刀往復式投影中加工 4/5

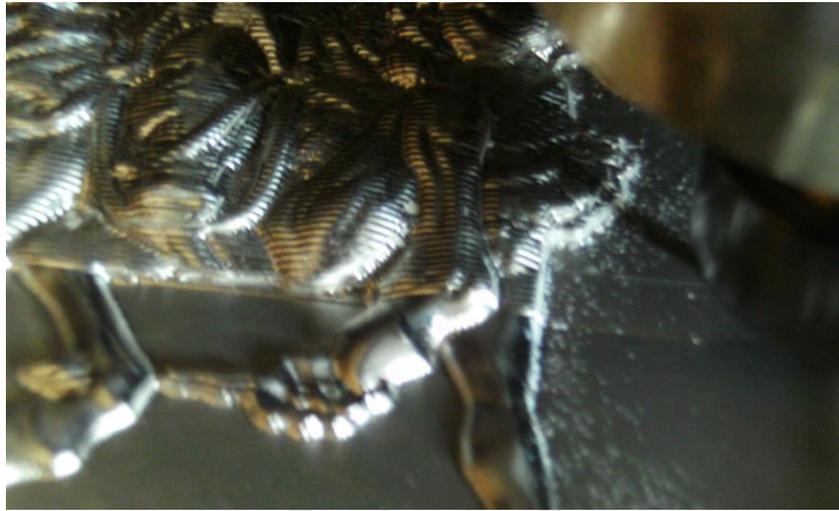


圖 73、R1 球銑刀往復式投影精加工 5/5



圖 74、切削完成之成品加工

3.3 使用投影加工模式的切削加工

壹、相關參數設定：

程式名稱(*.shoe) work-zigzap		加工尺寸(X, Y, Z/mm) 145, Y200, Z-6			
刀具尺寸(mm)	R6	R3	R2	R1	
刀具形式	球銑刀	球銑刀	球銑刀	球銑刀	
加工類型	往復式投影粗加工	往復式投影中加工	往復式投影中加工	往復式投影精加工	
刀間距離(mm)	1.0/Z2	0.7	0.5	0.1	
主軸轉速(rpm)	16,000	18,000	20,000	22,000	
下刀進給(mm/min)	80	80	80	80	
切深進給(mm/min)	1,500	1,800	2,000	2,500	
程式加工時間(分:秒)	59:36	23:48	30:06	2:01:36	
機台加工時間(分:秒)	61:54	26:58	37:55	2:41:07	
誤差時間(分:秒)	2:18	3:10	7:49	39:31	
誤差百分比(%)	96.28%	88.26%	79.38%	75.47%	
實際加工時間(時:分:秒)	4小時:47分:54秒				

表 3、使用投影加工模式的切削加工參數表

貳、實際切削加工：



圖 75、R6 球銑刀往復式投影粗加工（第一層深度 2mm）1/5

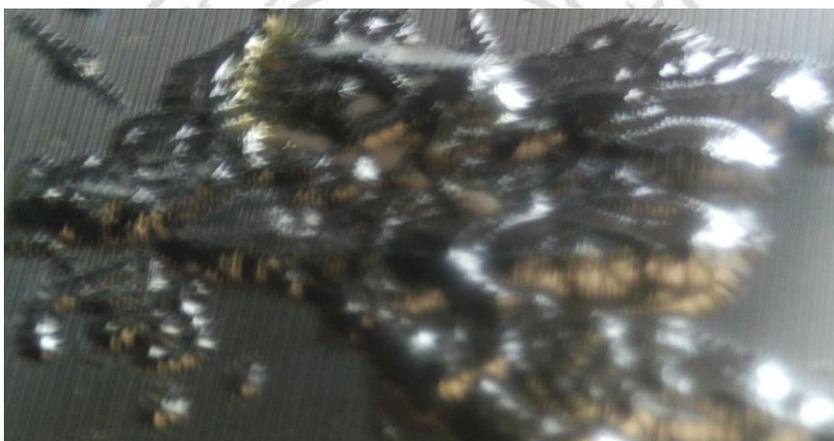


圖 76、R6 球銑刀往復式投影粗加工（第二層深度 4mm）2/5



圖 77、R6 球銑刀往復式投影粗加工（第三層深度 6mm）3/5



圖 78、R3 球銑刀往復式投影中加工 4/5



圖 79、R2 球銑刀往復式投影中加工 5/5

3.4 使用多層投影加工模式的切削加工

壹、相關參數設定：

程式名稱(*.shoe)		加工尺寸(X, Y, Z/mm)			
work-newpocket		145, Y200, Z-6			
刀具尺寸(mm)	Ø12	R2	R1		
刀具形式	平銑刀	球銑刀	球銑刀		
加工類型	多層投影 粗加工	多層投影 中加工	往復式投 影精加工		
刀間距離(mm)	5.85/Z0.5	0.5	0.1		
主軸轉速(rpm)	16,000	20,000	22,000		
下刀進給 (mm/min)	80	80	80		
切深進給 (mm/min)	1,500	3,500	2,500		
程式加工時間 (分：秒)	33:18	39:36	2:01:36		
機台加工時間 (分：秒)	35:59	1:05:57	2:41:07		
誤差時間 (分：秒)	2:41	26:21	39:31		
誤差百分比 (%)	92.54%	60.05%	75.47%		
實際加工時間 (時：分：秒)	4 小時：23 分：03 秒				

表 4、使用多層投影加工模式的切削加工參數表

貳、實際切削加工：



圖 80、 $\varnothing 12$ 平銑刀多層投影粗加工 1/5

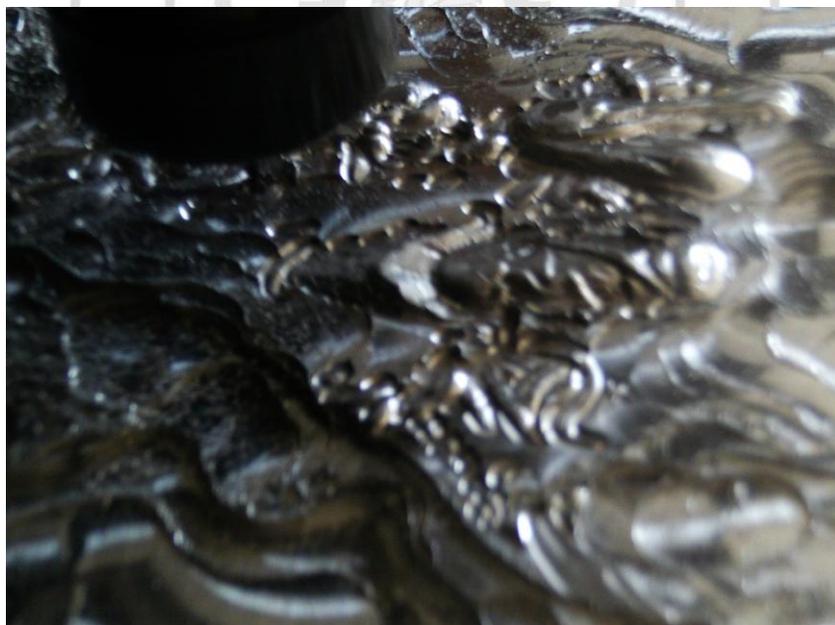


圖 81、R2 球銑刀多層投影中加工 2/5

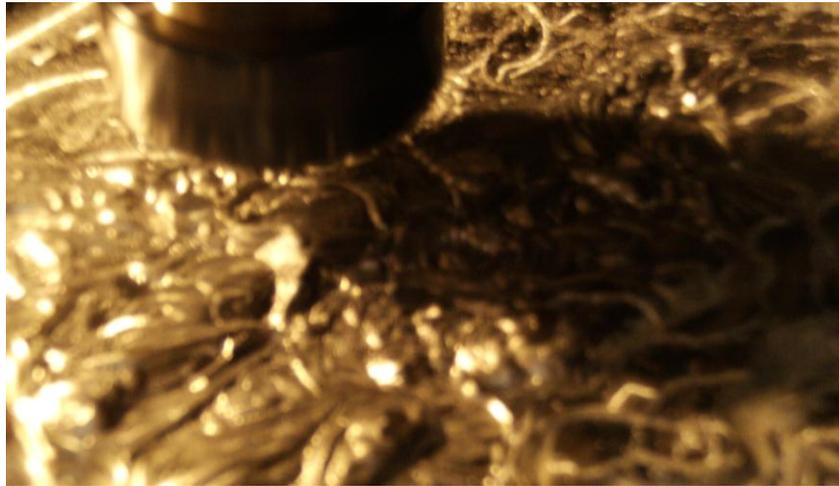


圖 82、R2 球銑刀多層投影中加工 3/5



圖 83、R2 球銑刀多層投影中加工 4/5

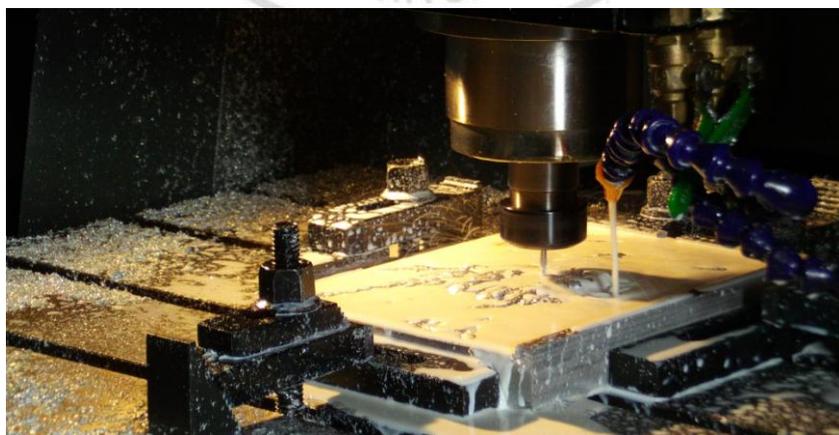


圖 84、R2 球銑刀多層投影中加工 5/5

3.5 加工結果分析與對策

壹、加工的效率：

加工模式 時間	多層式投影	等高加工	投影加工
程式時間 (時：分：秒)	3:14:30	3:23:38	3:55:06
加工時間 (時：分：秒)	4:23:03	4:40:38	4:47:54
誤差時間 (時：分：秒)	1:08:33	1:16:50	52:48
誤差百分比 (%)	73.94%	72.62%	81.66%
加工時間差值 (分：秒)	0	17:35	24:51

表 5、三種加工模式之程式與加工時間誤差分析表

透過表 3-4 將三種加工模式的實際加工來做一比對分析，可以看出之前所假設的邏輯理論是正確的；改良式刀具路徑計算法”多層式投影加工”的實際加工時間最短。

另一個有趣的數字顯示，在軟體所算出的加工時間與實際的加工時間有些許落差；但三種加工模式的時間落差並不一致，甚至無法單獨從這些時間數據中找出關聯。茲就將影響程式時間與加工時間誤差的原因敘述於下：

- 1、加工中換刀的時間。軟體並未運算此一時間，換刀時間也會依換刀形式、刀庫形式而有所不同；此次加工測試中因採用手動換刀，並未計算換刀時間。

2、加工中提刀、下刀與位移（程式中的 G00 指令，做快速位移）的時間。軟體並未運算此一時間，提刀數量與位移距離都會影響兩者之誤差時間。此一問題，可建議軟體本身加入時間計算的功能。

3、加工中控制器的加減速運算能力、記憶體緩衝區與預讀容量。實際加工中因為加工曲面群組的特徵形狀不一，所以控制器在計算刀具軌跡時，需考慮到機器剛性與加工件精度問題，在轉角處需做減速的計算；另一方面，控制器的記憶體緩衝區大小與傳輸方式（控制器本身有儲存設備或採用 DNC 邊傳邊做及 DNC 傳輸速率）都會影響到加工的速度。

當加工曲面群組的特徵變化越激烈時，程式時間與加工時間的誤差就會加大，除非軟體在計算時間時將控制器加減速的運算邏輯也考慮進去，否則將會無法抓到精準的數據。

貳、提刀、下刀與位移的時間誤差：

加工模式 時間	多層式投影	等高加工	投影加工
程式時間 (時：分：秒)	1:12:54	1:22:12	1:53:30
加工時間 (時：分：秒)	1:41:56	1:59:31	2:06:47
誤差時間 (時：分：秒)	29:02	37:19	13:17
誤差百分比 (%)	71.57%	68.62%	89.55%

表 6、三種模式粗、中加工部份；程式與加工時間誤差分析表

透過表 3-5，來針對三種加工方式的粗、中加工時間做數據分析；並且可以經由圖 3-23 至圖 3-31 中的三種加工方式，不同的視圖（上視圖、側視圖與等角視圖）中明顯看出；當所計算出的加工程式中出現了越多的提刀、下刀與位移（圖中紅色線，在機器加工中是以 G00 做快速移動）情況時，則程式所估算的時間就會與實際加工的時間誤差值變大。而這正是如前面文章所提到的，因為軟體並未去運算加工中提刀、下刀與位移的時間。

所以可以看到在三種的加工模式中，以往復式投影加工的提刀、下刀與位移數量最少，所以其程式時間與實際加工時間的誤差值是最小。

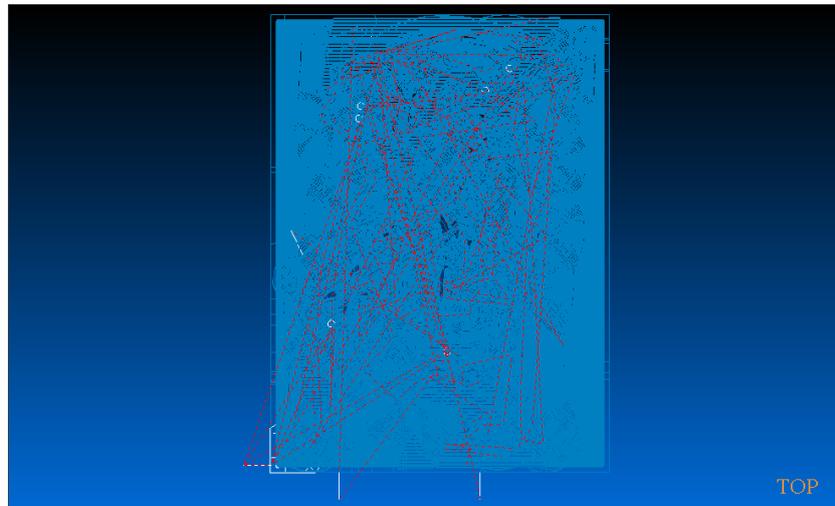


圖 85、多層式投影粗、中加工；紅色為提刀、白色為進刀(上視圖)1/3

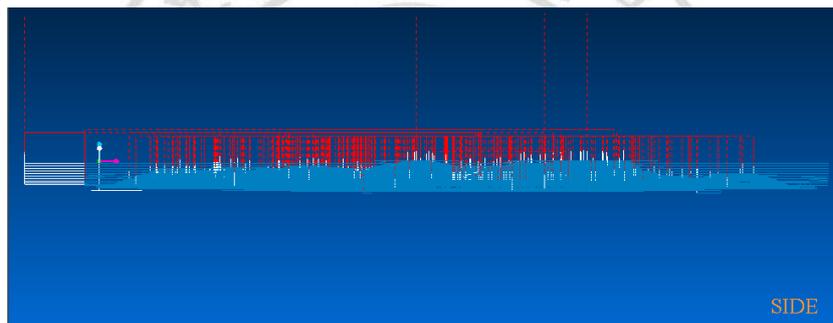


圖 86、多層式投影粗、中加工；紅色為提刀、白色為進刀(側視圖)2/3

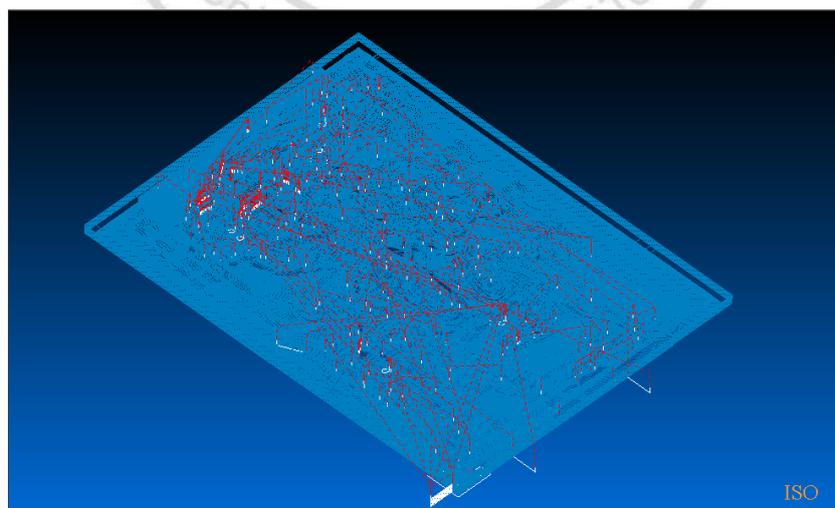


圖 87、多層式投影粗、中加工；紅色為提刀、白色為進刀(等角視圖)3/3

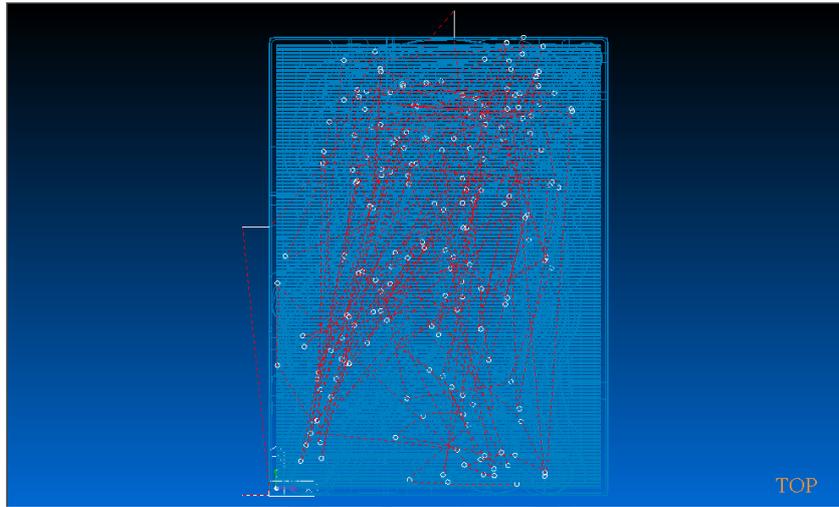


圖 88、等高加工粗、中加工；紅色為提刀、白色為進刀(上視圖)1/3

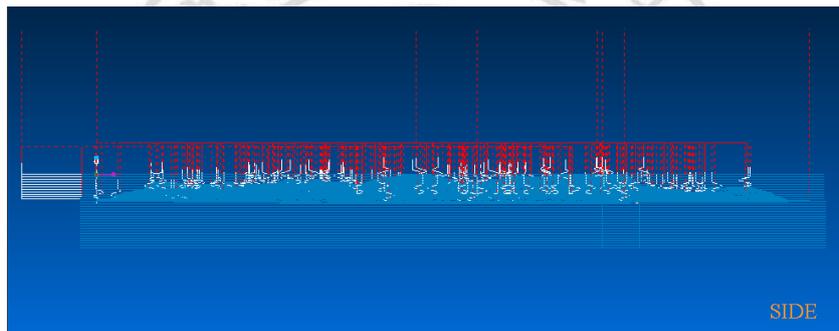


圖 89、等高加工粗、中加工；紅色為提刀、白色為進刀(側視圖)2/3

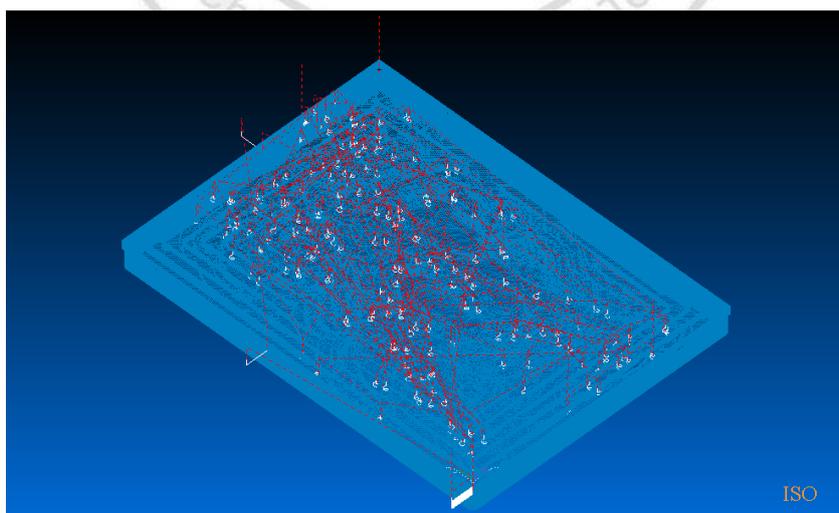


圖 90、等高加工粗、中加工；紅色為提刀、白色為進刀(等角視圖)3/3

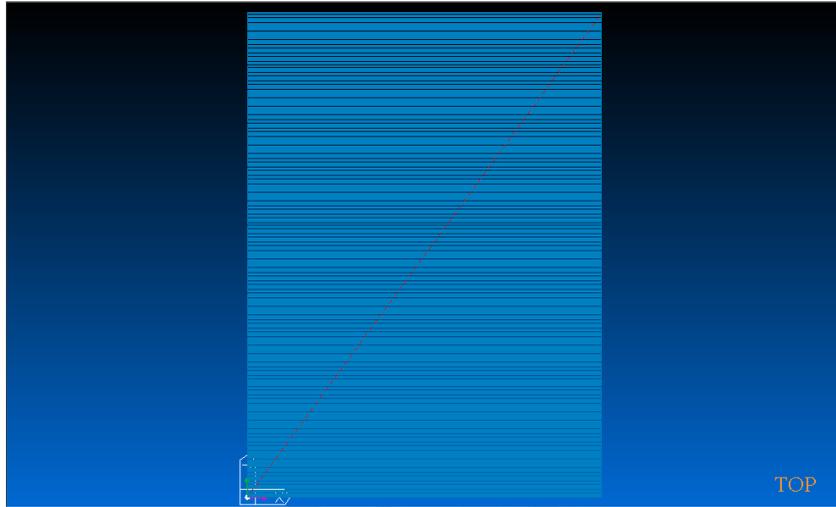


圖 91、往復加工粗、中加工；紅色為提刀、白色為進刀(上視圖)1/3

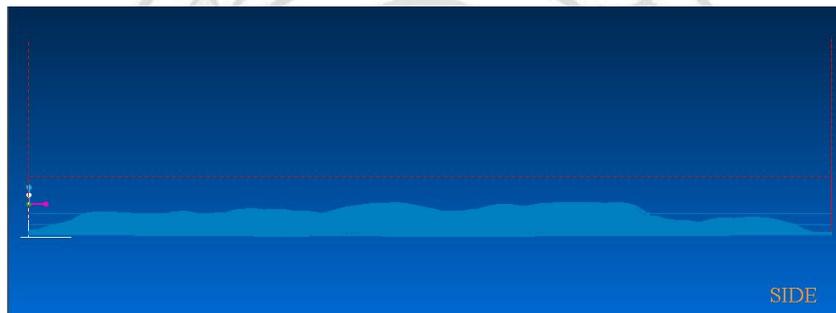


圖 92、往復加工粗、中加工；紅色為提刀、白色為進刀(側視圖)2/3

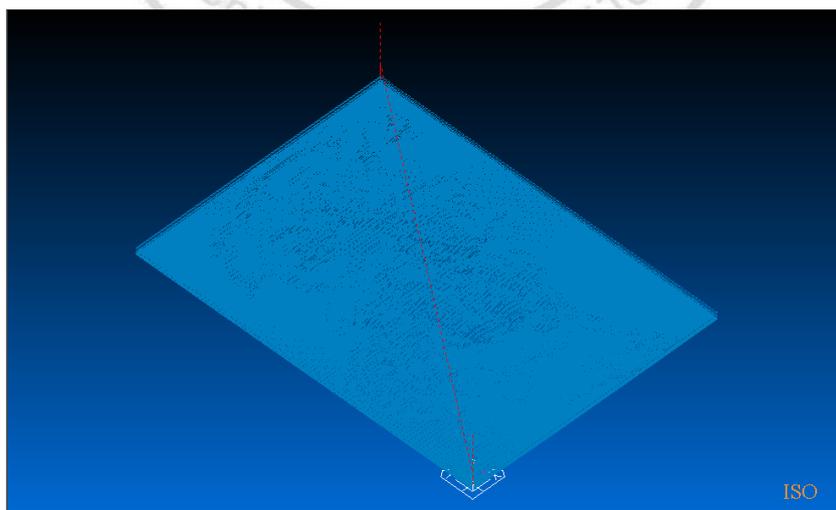


圖 93、往復投影粗、中加工；紅色為提刀、白色為進刀(等角視圖)3/3

參、刀具路徑形式對加工速度、品質的影響：

一般在加工編程中，做最後的特徵精加工時，通常是以投影式的加工方式來做處理；而軟體在處理大區域的投影加工時，大概可以分為幾個方式：

1. 單向式投影加工法：刀具依照指定角度做投影式加工。當刀具到達以所選取的外型輪廓曲線或曲面最大外型輪廓為邊界時，提刀快速位移至下一個刀具路徑起點，繼續加工。
2. 往復式投影加工法：刀具依照指定角度做投影式加工。當刀具到達以所選取的外型輪廓曲線或曲面最大外型輪廓為邊界時，往路徑垂直方向做側進刀動作，再依原刀具路徑的相反方向繼續做切削運動。
3. 以外型輪廓做環繞式投影（2D）加工法：刀具依照所選取的外型輪廓曲線或曲面最大外型輪廓為邊界及驅動線，做等距離偏置（Offset）式的投影加工。因所產生的驅動線群組是以和刀軸（通常是Z軸）方向垂直的平面（通常是XY平面），來做平面式的等距離偏置所產生。所以是一種2D的驅動線群組，亦可稱為在平面上（On Plane）；其加工方式可分為由內向外與由外向內兩種加工方向。
4. 以外型輪廓做環繞式投影（3D）加工法：刀具依照所選取的外型輪廓曲線或曲面最大外型輪廓為邊界及驅動線，做等距離偏置（Offset）式的投影加工。

但因所產生的驅動線群組是以和刀軸（通常是 Z 軸）方向垂直，但卻是在被加工的曲面群組特徵上做立體的等距離偏置所產生。所以是一種 3D 的驅動線群組，亦可稱為在零件上（On Part）；其加工方式可分為由內向外與由外向內兩種加工方向。

5. 螺旋式投影加工法：刀具以指定的點為中心，依照所選取的外型輪廓曲線或曲面最大外型輪廓為邊界及驅動線，使驅動線群組依螺旋（Helix）的漸進式做投影式加工。通常用於圓形、橢圓形、、、等外型輪廓規律的加工；其加工方式可分為由內向外與由外向內兩種加工方向。
6. 放射式投影加工法：刀具以指定的點為中心，依照所選取的外型輪廓曲線或曲面最大外型輪廓為邊界，設定間距。再由中心點與邊界間產生往復式的驅動線群組，做投影式加工；通常用於圓形、橢圓形、、、等外型輪廓規律的加工。

上述的投影式加工法是較為一般商業 CAM 編程軟體所採用的功能；其中又以往復式投影加工法及環繞式投影（2D）加工法兩項最為廣泛。此次的實際加工測試中有針對這兩項的精加工方式來做加工時間的統計與分析。

加工模式 時間	往復式投影加工	環繞式投影加工	加工時間差值 (時：分：秒)
下刀進給 (mm/min)	80	80	
切深進給 (mm/min)	2,500	2,500	
程式時間 (時：分：秒)	2:01:36	2:00:46	00:00:50
加工時間 (時：分：秒)	2:42:07	3:32:42	00:50:35
誤差時間 (時：分：秒)	39:31	1:31:56	
誤差百分比 (%)	75.47%	56.77%	

表 7、往復式與環繞式投影加工法，在程式與加工時間之誤差分析表

由上表 3-6 中可以歸納出如下的論點：

1. 因為所計算被加工的曲面群組體積相同，所以往復式投影加工法與環繞式投影加工法，兩者在程式所計算出的加工時間是相差不多，甚至環繞式投影加工法時間還少了 50 秒（這是因為環繞式所計算出來的總刀具路徑長度較往復式的總刀具路徑長度短的緣故）。
2. 實際的切削加工中，使用往復式投影加工所花費的時間遠比使用環繞式投影加工所花費的時間少了許多。分析原因，在於使用環繞式投影加工時，因為切削轉角的過於激烈，造成控制器運算時的加減速落差過大；所以，編寫刀具路徑時，應儘可能的降低路徑的轉折過大。

3. 由刀具路徑及實際加工成品中發現，使用環繞式投影加工法加工；如果所選擇的邊界曲線或曲面最大外型輪廓，有不平順的情況（如尖角）產生時，以及刀具路徑與刀具路徑相連的側進刀部份，都會在被加工件的表面上產生很明顯的痕跡；其發生原因為：刀具路徑的運算公差、加工時轉角的加減速所造成的加工速度變化、機器剛性問題、伺服馬達與驅動器分辨率及響應速度、因切削角度變化所造成刀具偏擺問題、、、等。

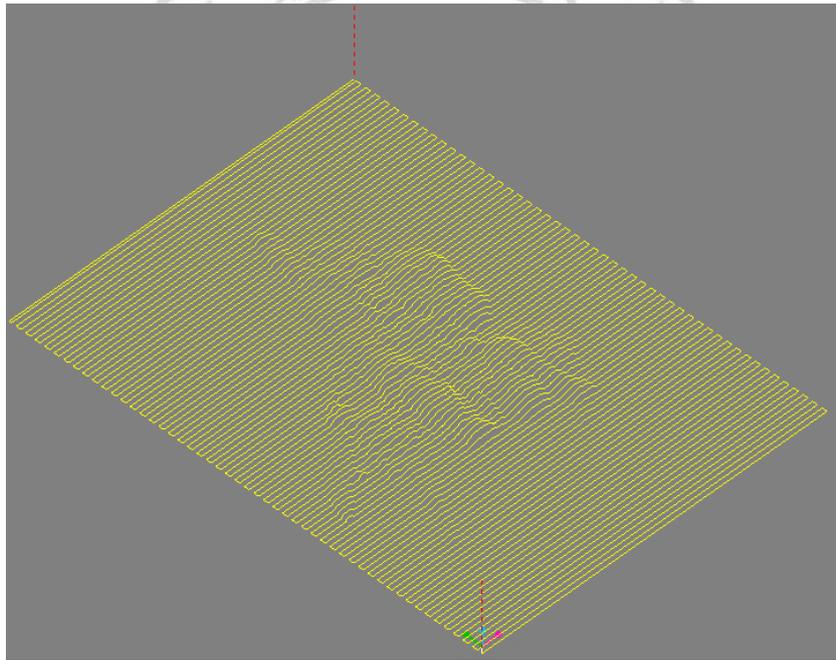


圖 94、往復式投影的加工路徑；可看出路徑的轉角平順



圖 95、使用往復式投影精加工；可看出工件表面無轉角痕跡 1/4



圖 96、使用往復式投影精加工；可看出工件表面無轉角痕跡 2/4



圖 97、使用往復式投影精加工；可看出工件表面無轉角痕跡 3/4



圖 98、使用往復式投影精加工；可看出工件表面無轉角痕跡 4/4

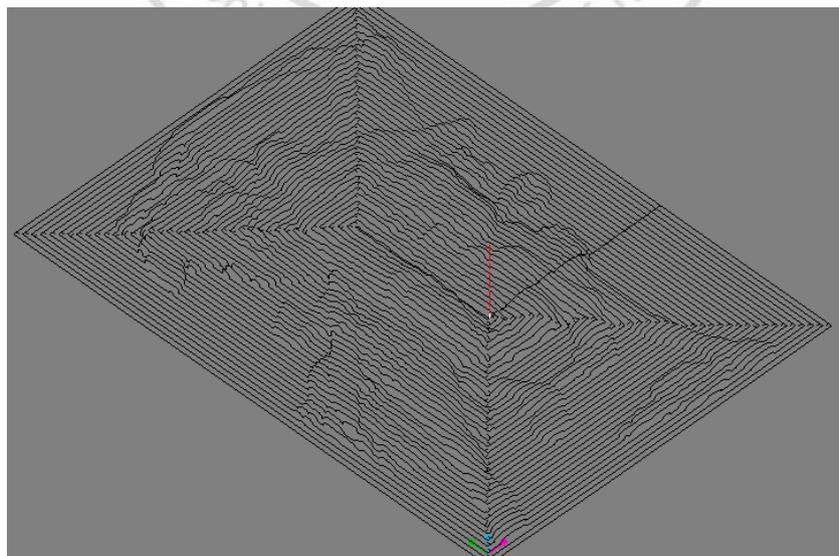


圖 99、環繞式投影的加工路徑；可看出側進刀與轉角位置有明顯痕跡



圖 100、使用環繞式投影精加工可發現工件表面在轉角處有明顯斜線 1/4

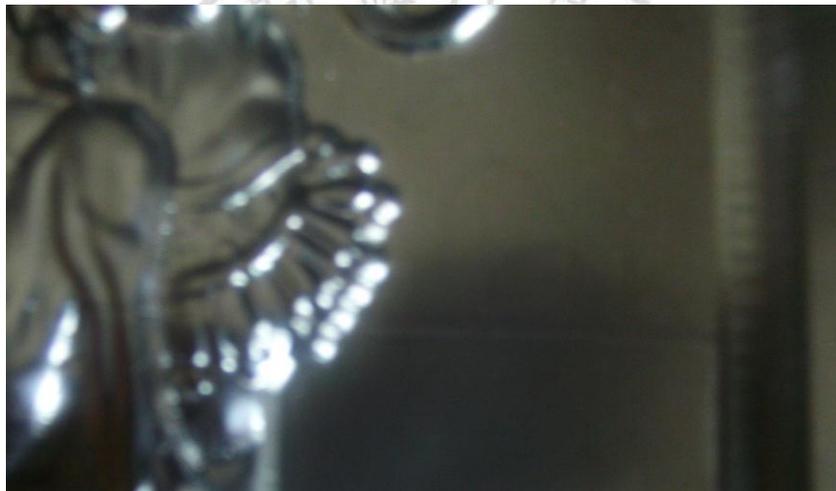


圖 101、使用環繞式投影精加工可發現工件表面在轉角處有明顯斜線 2/4



圖 102、使用環繞式投影精加工可發現工件表面在轉角處有明顯斜線 3/4



圖 103、使用環繞式投影精加工可發現工件表面在轉角處有明顯斜線 4/4

第四章 結論

隨著科技的日新月異，不斷的有新的科技、材料、技術、理論、、、等的突破與發表；但是，惟有整合好週遭的這些資源’，才能夠使好的技術、設備或理論充份的發揮效能。本篇文章所討論的“多層投影加工”，是根據筆者多年的加工經驗所分析、歸納出來；其目的是要嘗試解決目前市面上一些需被 CNC 加工的產品當中，關於曲面特徵變化複雜的部份，如雕塑、浮雕等產品。利用均勻的留料量以使刀具切削時力求受力的平均；產生無激烈轉角的刀具路徑；控制切削深度以避免刀具斷裂；及減少提、下刀頻率等改善方式來達到提高加工效率與減少資源、材料損耗的目的。

在軟體的改善過程中發現仍有許多的部份可以再優化與進步的空間；例如使多層投影加工在中加工部份的提、下刀頻率再降低（此次的加工切削中，只做目測的計算而未做正式時間紀錄，並且參考程式中的 G00 指令數量；發現在多層投影加工中以 R2 球銑刀做中加工時，加工時間為 1 小時 05 分 57 秒。但在實際的加工過程中所有的提刀、位移、下刀與進刀的動作大約 390 次，使用的時間花了大約 15 分鐘。）；等高加工中做中加工的運算處理時，軟體並無法自動判斷已加工過的區域，因而增加了重覆的加工位置、較小加工區域合併以減少刀具的提、下

刀動作、等等；都是我們可以透過檢討原來軟體的運算邏輯，而再加以改善以
提升效率的目標。

而對於軟體其他的加工法及目前一些仍難以處理的加工工件，也都是可以利用
管理學中製程分析的方式，來整理出一條合理化的邏輯法則，並將其推導為一
條可利用的方程式；再運用撰寫二次開發程式的方式寫入使用的軟體中，以期使
原本複雜、困難的問題變得更加簡化與容易。

在另外一方面，企業也可以利用此一邏輯觀念，來將公司本身在生產、管理
的過程中所累積到的經驗與知識，寫入軟體中以累積成企業的知識庫。這樣對於
爾後企業在培養新進人員或面對公司員工的職務異動、離職時，就可以縮短培訓
的時間、成本，並快速的進入或恢復原來的生產狀況；並使企業縮短加工製程，
減少磨耗及提升設備稼動率，讓企業更加具備競爭力。

參考文獻

【1】 百度文庫 CAD／CAM 發展史

<http://wenku.baidu.com/view/4555049c51e79b896802262d.html>

【2】 中國莒南縣萬通石雕加工廠；<http://wantongshidiao.cn.alibaba.com/>

【3】 萬寶路石雕坊；<http://bbs.marblecarveworks.com/bbs/index.php>

【4】 杭州先臨三維科技股份有限公司；

<http://shining3d.com/zh-cn/index.html>

【5】 ShoeCAM，寶元科技股份有限公司；

<http://www.pouyuen.com.tw/index.htm>

【6】 鈺展國際有限公司；<http://www.gallop.com.tw/>

【7】 展大國際股份有限公司；<http://www.piovision.com/hypermill.htm>

【8】Rhino3D，Robert McNeel & Associates；<http://www.rhino3d.com/>

【9】 高速高精度切削淺談；林盛勇教授／國立虎尾科技大學；

工具機與零組件 | 2009. 7

【10】 百德機械股份有限公司；www.quaser.com

【11】 高速加工教材；許進忠副教授／國立高雄應用科技大學；

<http://www.scribd.com/doc/3759512/20080701053HSM>

【12】 碧威股份有限公司；

<http://tw.tool-tool.com/news/201202/cutting-tool-manufacturing-process/>

【13】 泉州伊士曼數控機械有限公司；<http://www.esmcnc.com/>

【14】 台灣智研科技有限公司；<http://www.intek.com.tw/ME3.htm>

【15】 北京天遠三維科技有限公司；<http://www.3dscan.com.cn/>

【16】 Geomagic, Inc. ; <http://www.geomagic.com/en/>

